

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет**

**Кафедра радіоприймання та оброблення сигналів**

До захисту допущено:

В.о.зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Мовчанюк А.В

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: «Трансвертер УКХ діапазону»**

Виконав :

студент IV курсу, групи РА-г61-1

Пархоменко Костянтин Віталійович

\_\_\_\_\_

Керівник:

асистент

Титенко Олександр Трохимович

\_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці

к.б.н. доцент

Гусєв Аркадій Миколайович

\_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н. доцент каф. КіВРА

Головня Вікторія Мілентіївна

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ-2020

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
	A4	РА61.46115.001 ТЗ	Завдання на дипломний проект	2	
	A4	РА61. 46115.001 ПЗ	Пояснювальна записка	51	
	A1	РА61. 46115.001 Е1	Структурна схема	1	
	A2	РА61. 46115.001 Е3	Схема електрична принципова	1	
	A1	РА61. 46115.001 СК	Друкований вузол	1	

				РА61.46115.001		
	ПІБ	ідп.	ата			
Розробн.	Пархомеко К.В.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівн.	Титенко О.Т.					1
Консульт.					КП ім. Ігоря Сікорського Каф. РОС Гр. РА-г61-1	
Н/контр.						
Зав.каф.	Мовчанюк А.В					

## **АНОТАЦІЯ**

Дипломний проект на тему «Трансвертер УКХ діапазону» виконаний на 50 сторінках, що містять 26 ілюстрацій, 2 таблиці, 3 додатки та 12 бібліографічних посилань.

Метою дипломного проекту є розробка трансвертера УКХ діапазону для розширення можливостей трансивера.

У результаті роботи над дипломним проектом розроблено комплект конструкторської документації для виготовлення трансвертера УКХ діапазону.

Ключові слова: трансвертер, УКХ, трансивер.

## **ANNOTATION**

Thesis project on the topic "VHF Transverter" is made on 50 pages, containing 26 illustrations, 2 tables, 3 appendices and 12 bibliographic references.

The aim of the diploma project is to develop a VHF transverter to expand the capabilities of the transceiver.

As a result of work on the diploma project, a set of design documentation for the manufacture of a VHF transverter was developed.

Key words: transverter, VHF, transceiver.

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

на тему: Трансвертер УКХ діапазону

Київ — 2020 року

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	2
Вступ.....	3
1. Огляд існуючих рішень.....	4
2. Аналіз технічного завдання .....	9
2.1. Обґрунтування схемотехнічного виконання .....	9
2.2. Вибір типу структурної схеми .....	9
3. Вибір і обґрунтування елементної бази .....	12
3.1. Вибір малошумового підсилювача .....	12
3.2. Вибір змішувача .....	13
3.3. Вибір високочастотного перемикача .....	13
3.4. Вибір підсилювачів драйверного каскаду .....	14
4. Розробка-розрахунок схеми фільтра .....	16
4.1. Розрахунок фільтра зосередженої селективності .....	16
4.2. Перевірка розрахунку фільтра зосередженої селективності .....	17
5. Моделювання схеми трансвертера в середовищі ADISmRF.....	24
5.1. Моделювання прийомного тракту .....	24
5.2. Моделювання передавального тракту .....	25
6. Розробка друкованої плати .....	27
6.1. Вибір методу виготовлення друкованої плати .....	27
6.2. Вибір матеріалу для друкованої плати .....	27
6.3. Розрахунок необхідної площі плати і вибір її розмірів .....	27
6.4. Розрахунок мікросмужкової лінії в програмі Txlіne .....	29
6.5. Трасування плати в САПР Kіcad .....	30
6.6. Розрахунок віброміцності електронного модуля .....	35
7. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях .....	37
7.1. Основні потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори ...	37
7.2. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни пра- ці та виробничої санітарії .....	38
7.3. Мікроклімат робочої зони .....	39
7.4. Електробезпека .....	40
7.5. Санітарні норми параметрів повітря робочої зони під час про- ведення процесу пайки .....	42
Висновок .....	45

					РА61.461150.001 ПЗ					
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Трансвертер УКХ діапазону			Лім.	Лист	Листів
Розробив	Пархоменко К									
Перевірів	Титенко .О.Т								1	
								РА-61 РТФ		
Н. Контр.										
Затвердив										

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

УКХ – ультракоротко хвильовий

НВЧ – надвисокочастотний

КХ – короткохвильовий

МШП – малощумовий транзистор

ТЗ – технічне завдання

ПЧ – проміжна частота

ЛТ – лінійний тракт

ДСФ – діапазонний смуговий фільтр

САПР – система автоматичного проектування

ЕРЕ – електрорадіоелементи

ПЕОМ - персональна електроннообчислювальна машина

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

КЗ – коротке замикання

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						2
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Роль технічних засобів для комунікації як в різних галузях народного господарства, так і між людьми на особистісному рівні є неоціненною. Серед багатьох технічних засобів зв'язку радіозв'язок дозволяє забезпечити комунікацію у військовій, правоохоронній, авіаційній, медичній та інших сферах народного господарства. Також радіозв'язок має популярність в аматорському колі. На сьогоднішній день для встановлення радіозв'язку в УКХ та НВЧ діапазонах більшість радіоаматорів використовує КХ та УКХ трансивери. Для розширення їх робочого діапазону частот використовують трансвертери. Трансвертери дозволяють розширити робочий діапазон трансиверів від сотень мегагерц до сотень гігагерц, що збільшує можливості роботи трансиверів. Тому трансвертери можуть мати попит у споживачів, що зумовлює актуальність їх розробки.

Метою дипломного проекту є розробка трансвертера УКХ діапазону для розширення можливостей трансивера.

Для реалізації мети були визначені такі завдання:

- 1) вивчити принцип роботи трансвертерів та проаналізувати існуючі рішення;
- 2) розробити структурну схему і провести розрахунок електричної схеми трансвертера;
- 3) змодельовати трансвертер;



## 1.Огляд існуючих рішень

Трансвертери складаються із вхідного пристрою, який забезпечує узгодження по шуму МШП і антени, МШП, який підсилює вхідний сигнал до певного рівня, комутатора, який перемикає МШП і підсилювач потужності, смугового фільтра, який забезпечує селективність по дзеркальному каналу, перетворювача частоти. Принцип роботи перетворювача частоти полягає в лінійному перенесенні спектра сигналу із одної частотної області в іншу. У склад перетворювача частоти входить: змішувач і гетеродин. Змішувач слугує для перемноження вхідного сигналу з сигналом гетеродину з ціллю отримання на виході ряду комбінаційних частот, одна із цих частот є проміжною. Для трансвертерів УКХ діапазону ПЧ вибирають в діапазонах 20м 14 МГц, 10 м 28 МГц, 6 м 50 МГц. У трансвертерах мікрохвильового діапазону використовують ПЧ 2 м 144 МГц, 70 см 430 МГц і вище. Трансвертери підключаються до аматорських трансиверів і у більшості їх передача сигналу блокується за межами аматорського діапазону. Тому бажано вибирати ПЧ так, щоб трансивер міг забезпечити передачу сигналу в потрібній смузі частот.

Розглянемо параметри деяких трансвертерів.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						4
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Elecraft XV 144

Трансвертер фірми Elecraft, зображений на рис.1.[1]



Рис.1.

Пристрій має просту конструкцію. З органів керування лише кнопка увімкнення живлення та роз'єм зовнішнього керування, за допомогою якого можливо об'єднати всі трансвертери в одну систему і перемикає їх за допомогою комп'ютера. Також присутня індикація вихідного рівня потужності. Можлива різна конфігурація виходів проміжної частоти. Схема ЛТ зображена на рис.2[1]

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА61.461150.001 ПЗ

Лист

5

В якості гетеродину використовується кварцовий генератор на 116мГц. Недоліком гетеродину є відсутність стабілізації частотита важко знайти кварц на частоту 116 МГц. Не виконане узгодження портів змішувача, що призводить до збільшення рівня паразитних комбінаційних частот.

- Діапазон частот 144-146 МГц
- ПЧ 28-30МГц
- Стабільність частоти гетеродину -
- Коефіцієнт підсилення ЛТ 25дБ
- Коефіцієнт шуму ЛТ 1дБ
- Точка компресії третього порядку OIP3 + 20дБм
- Вибірковість по дзеркальному каналу 60 дБ
- Вихідна потужність передавача 20 Вт

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## ANGLIAN 144MHZ TRANSVERTER

Конструкція зображена на рис.3. [2]

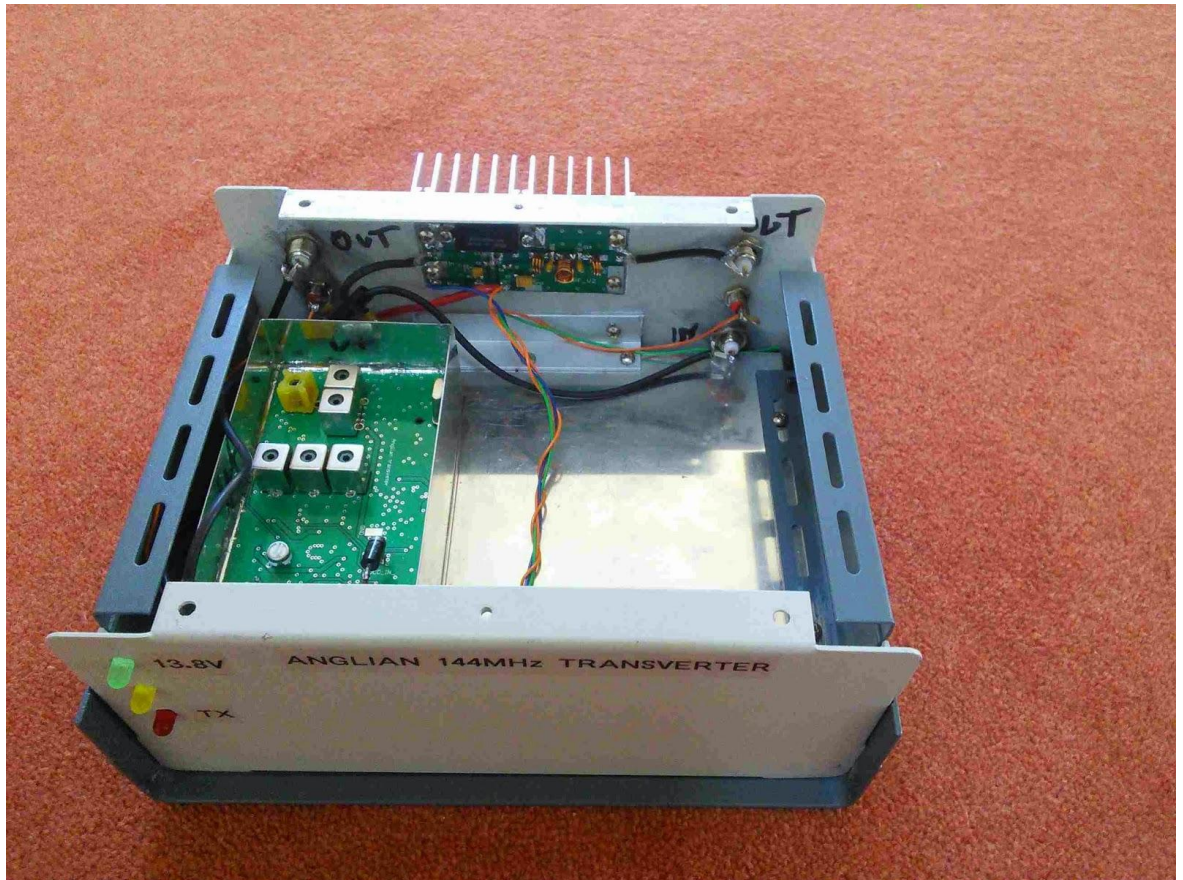


Рис.3.

Проста конструкція, із органів керування лише роз'єм для переходу в режим передачі. У системі індикації використовують три світлодіода для відображення наявності живлення та режиму прийому чи передачі. Схема зображена на рис.4. [2]

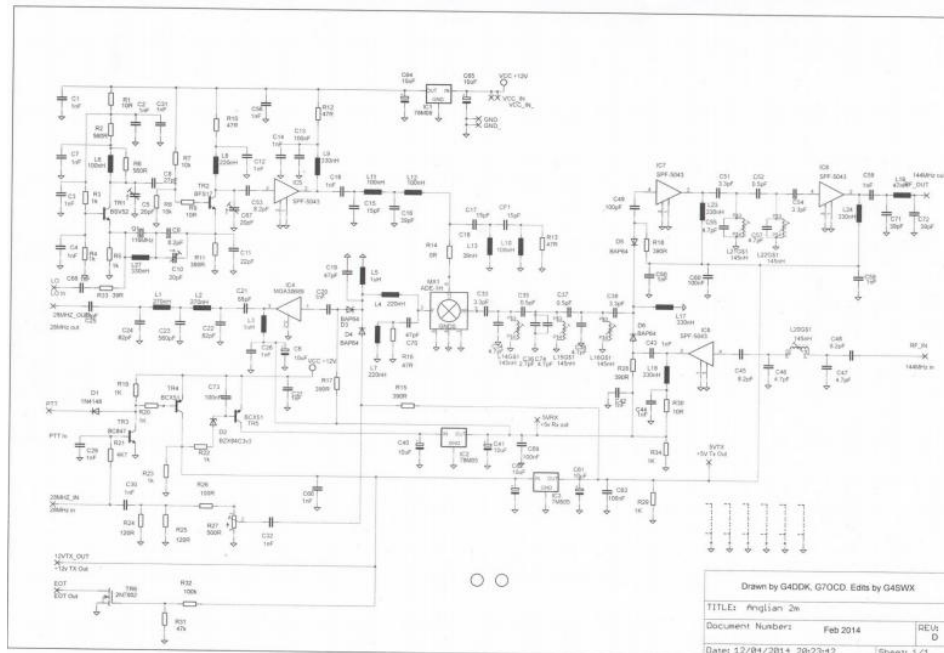


Рис.4.

У цьому варіанті трансвертера також в якості гетеродину використовують кварцовий генератор без стабілізації частоти, але для покращення чистоти спектра сигналу гетеродину використовують диплексер, який у свою чергу узгоджує вихідний каскад гетеродина із входом змішувача.

#### Параметри

- Діапазон частот 144-146МГц
- ПЧ 28-30 МГц
- Коефіцієнт підсилення ЛТ 25 дБ
- Точка компресії третього порядку OIP3+ 25 дБм
- Вибірковість по дзеркальному каналу 60дБ

У ході аналізу існуючих рішень було визначено, що спільним для усіх трансвертерів є простота їх конструкції та використання кварцового генератора в якості гетеродину. І саме використання кварцового генератора є тим фактором, який знижує стабільність частоти.

Тому було вирішено створити власний варіант.

## 2.Аналіз технічного завдання

### 2.1. Обґрунтування схемотехнічного виконання

У даному дипломному проекті розробляється трансвертер УКХ діапазону. Структура і принцип побудови трансвертера УКХ діапазону визначаються з вимог технічного завдання.

Відповідно до технічного завдання кліматичне виконання УХЛ 1 за ГОСТ 15150-69 передбачає наступні вимоги:

- Робоча температура в межах  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$
- Гранична температура в межах від  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$
- Середньорічне значення відносної вологості при температурі  $+15^{\circ}\text{C}$  становить 75%
- Верхнє значення відносної вологості при температурі  $+25^{\circ}\text{C}$  становить 90%

Виходячи з цих вимог, потрібно використовувати герметизацію корпусу по IP65W.

Окрім того, трансвертер має відповідати таким електричним параметрам:

Коефіцієнт шуму не більше 1.4дБ

Вибірковість по дзеркальному каналу не менше 60 дБ

### 2.2.Вибір типу структурної схеми

Трансвертер повинен забезпечити виконання таких функцій:

1. Вибірковість по дзеркальному каналу.
2. Підсилення сигналу для компенсації втрат на перетворення.
3. Низький рівень шуму ЛТ.

На рис.5 зображений трансвертер по Дуплексній схемі.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



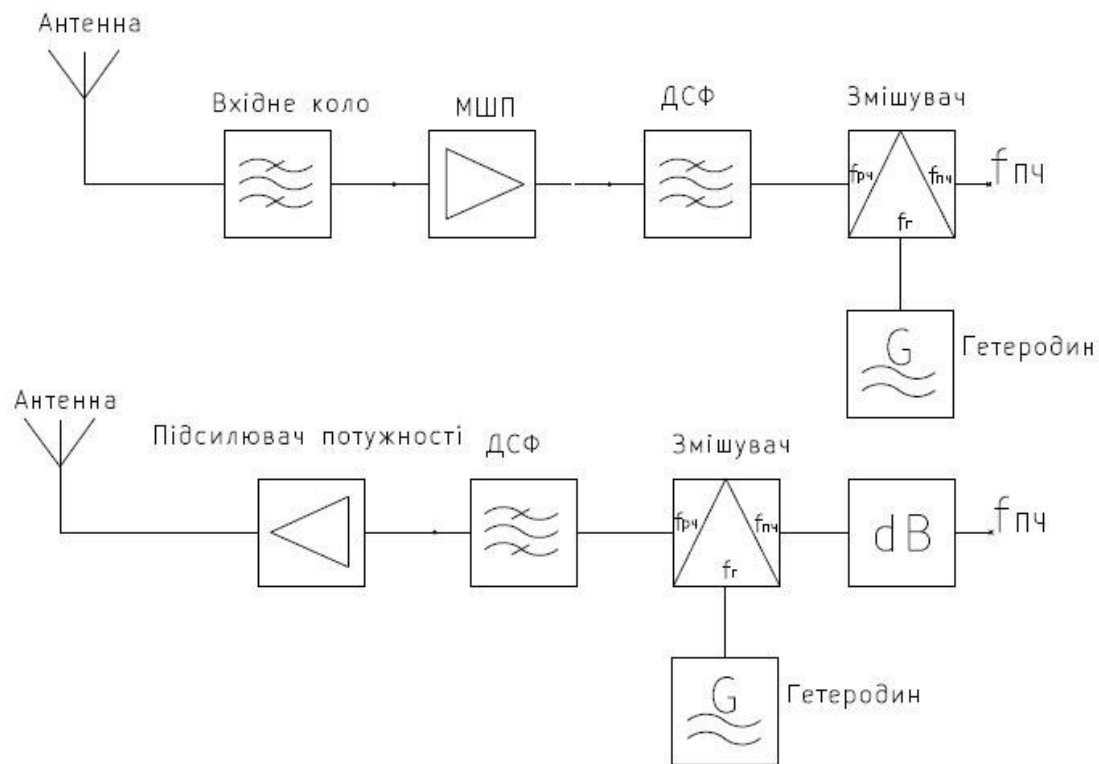


Рис.5.

До його переваг можна віднести, можливість працювати на прийом і передачу в дуплексному режимі, на різних діапазонах, можливо переконфігурувати в напівдуплексний режим, та працювати в напівдуплексному режимі на різних діапазонах. Наприклад, це застосовується в супутниковому зв'язку, коли прийом йде на низхідній частоті, а передача на висхідній частоті.

До недоліків можна віднести вартість та необхідність двох гетеродинів.

На рис.6. зображений напівдуплексний варіант виконання трансвертера.

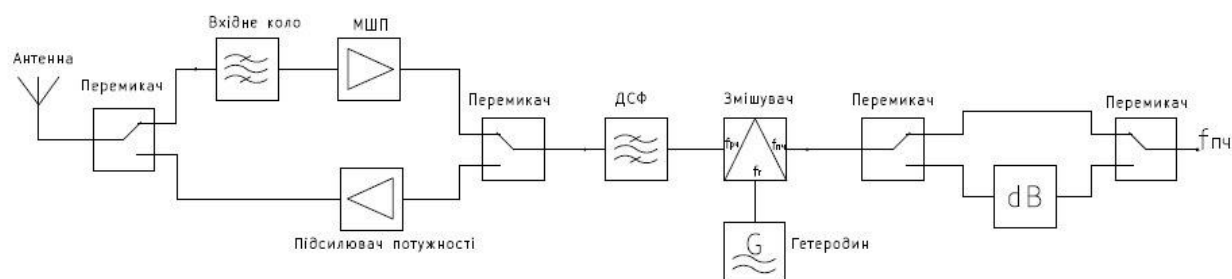


Рис.6.

До переваг цього варіанту можна віднести нижчу ціну, необхідність одногогетеродина, та простота виконання. До недоліків цього варіанту можна віднести неможливість працювати в дуплексному режимі. Але незважаючи на це, цей варіант підходить для нашої задачі. Адже у нашому випадку використовується напівдуплексний зв'язок.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



### 3.Вибір і обґрунтування елементної бази

#### 3.1. Вибір малошумового підсилювача

Малошумовий підсилювач грає важливу роль у приймальному тракті, адже саме він забезпечує коефіцієнт шуму всього тракту і впливає на чутливість приймача. Вимоги до малошумового підсилювача висуваються такі: низький коефіцієнт шуму, високе значення одноступенчатої точки компресії та точки компресії третього порядку. Це забезпечить малошумовому підсилювачу великий динамічний діапазон.

Розглянемо декілька малошумових підсилювачів від фірми MiniCircuits рис.7. [3] У фільтрі вкажемо, щоб відображало тільки ті мікросхеми, у яких коефіцієнт шуму менший за 3дБ.

Hide Filter -		All  samples		Send to a Friend						Export to Excel			
Interface	Category			F Low (MHz)	F High (MHz)	Gain (dB) Typ.	NF (dB) Typ.	P1dB (dBm) Typ.	OIP3 (dBm) Typ.	Voltage (V)	Current (mA)	Connector Type	Options
<input type="checkbox"/> SMT <input type="checkbox"/> Die <input type="checkbox"/> Connector <input type="checkbox"/> Plug-in <input type="checkbox"/> Rack	<input checked="" type="checkbox"/> Low Noise Amplifiers (NF < 3 dB) <input type="checkbox"/> High Power Amplifiers (>2W) <input type="checkbox"/> Linear Amplifiers (IP3 > +40 dBm) <input type="checkbox"/> CATV Amplifiers (750) <input type="checkbox"/> RF Transistors	<input type="checkbox"/> Gain Blocks <input type="checkbox"/> Variable Gain Amplifiers <input type="checkbox"/> Dual Matched Amplifiers <input type="checkbox"/> Pulse Amplifiers									≤	<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> BNC <input type="checkbox"/> SMA <input type="checkbox"/> SMA-N <input type="checkbox"/> 2.92mm <input type="checkbox"/> 2.4mm	<input type="checkbox"/> Bracket <input type="checkbox"/> Heat Sink
Model Number	F Low (MHz)	F High (MHz)	Gain (dB) Typ.	NF (dB) Typ.	P1dB(dBm) Typ.	OIP3 (dBm) Typ.	Input VSWR (-1) Typ.	Output VSWR (-1) Typ.	Voltage (V)	Current (mA)	Case Style	Connector Type	Option
PGA-103+	50	4000	11	0.9	22.5	44.6	1.6	1.2	3.0/5.0	60/97	DF782	-	-
PHA-23HLN+	30	2000	21.3	1.4	28.4	44.4	1.7	1.48	8	235	DF782	-	-
LHA-13HLN+	1	1000	22.7	1.2	28	43.3	1.28	1.32	8	239	DQ1225	-	-
PHA-13HLN+	1	1000	22.7	1.1	28.7	43	1.3	1.3	8	234	DF782	-	-
TSS-13HLN-D+	1	1000	23	1.4	28.4	42.9	1.43	1.37	8/5/3	234/142/72		-	-
TSS-13HLN+	1	1000	23	1.4	28.4	42.9	1.43	1.37	8	234	DQ1225	-	-
TSS-23HLN-D+	30	2000	21.8	1.4	28.5	42.6	1.92	1.67	8/5/3	236/139/74		-	-
TSS-23HLN+	30	2000	21.8	1.4	28.5	42.6	1.92	1.67	8	236	DQ1225	-	-
ZRL-2300+	1400	2300	29	2.5	26	42	1.2	1.16	12	470	FJ893	SMA	-
ZRL-400+	150	400	31	2.5	25	42	1.5	1.25	12	450	FJ893	SMA	-
PGA-103-D+	50	4000	11.3	0.8	22.3	41.6	1.5	1.4	5	60/97		-	-

Рис.7.

Посортуємо по точці компресії третього порядку OIP3. Серед наведених вище варіантів найкраще підходить нам PGA-103+.

Мікросхема PGA-103+ має низьку вартість, низький коефіцієнт шуму, достатній коефіцієнт підсилення та високий динамічний діапазон.

### 3.2. Вибір змішувача

Вимоги до змішувача висуваються такі: високий динамічний діапазон, низький коефіцієнт перетворення. Розглянемо змішувачі від фірми MiniCircuits Рис.8. [4]









Hide Filter -		All 										Send to a Friend 		Export to Excel 					
Interface		RF Freq. (MHz)		LO Freq. (MHz)		IF Freq. (MHz)		Conversion loss (dB)		Input IP3 (dBm)		LO-RF Isolation (dB)		LO-IF Isolation (dB)		Subcategory		Technology	
<div><input type="checkbox"/> SMT</div> <div><input type="checkbox"/> Die</div> <div><input type="checkbox"/> Connector</div> <div><input type="checkbox"/> Plug-In</div>		<div><div></div> - <div></div></div> <div>MinMax</div>		<div><div></div> - <div></div></div> <div>MinMax</div>		<div><div></div> - <div></div></div> <div>MinMax</div>		<div><div></div> ≤ <div></div></div> <div>(active mixer is displayed as negative loss)</div>		<div><div></div> ≥ <div></div></div>		<div><div></div> ≥ <div></div></div>		<div><div></div> ≥ <div></div></div>		<div><input type="checkbox"/> Active Mixer</div> <div><input type="checkbox"/> Double Balanced Mixer</div> <div><input checked="" type="checkbox"/> Triple Balanced Mixer</div> <div><input type="checkbox"/> High Reliability</div> <div><input type="checkbox"/> Image Reject</div> <div><input type="checkbox"/> Up Converter</div>		<div><input type="checkbox"/> LTCC</div> <div><input type="checkbox"/> MMIC</div> <div><input type="checkbox"/> Core &amp; Wire</div>	
Model Number		LO Level (dBm)	RF Freq. Low (MHz)	RF Freq. High (MHz)	LO Freq. Low (MHz)	LO Freq. High (MHz)	IF Freq. Low (MHz)	IF Freq. High (MHz)	Conversion Loss (dB) Typ.	LO-RF Isolation (dB) Typ.	LO-IF Isolation (dB) Typ.	Input P1dB (dBm) Typ.	Input IP3 (dBm) Typ.	Subcategory	Technology	Case Style			
<div><div></div></div>		<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>	<div><div></div></div>		
MCA-50H+		17	1000	5000	1000	5000	10	1500	7.3	30	30	14	23	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	DZ883			
SYM-14H+ 		17	100	1370	100	1370	10	1000	6.5	36	30	17	30	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	TTT167			
SYM-18H+ 		17	5	1800	5	1800	10	1500	5.8	45	50	14	30	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	TTT167			
SYM-20DHW+		17	10	2000	10	2000	10	1800	6.2	40	42	14	27	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	TTT167			
SYM-24DH+ 		17	1400	2400	1400	2400	10	250	7	32	36	14	29	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	TTT167			
SYM-25DHW+ 		17	80	2500	80	2500	DC	1000	6.4	37	33	14	30	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	TTT167			
SYM-30DHW+ 		17	5	3000	5	3000	5	1500	6.5	40	25	14	29	Triple Balanced Mixer	Core & Wire	TTT167			

Рис.8.

Найкраще всього нам підходить змішувач SYM-18H+. Змішувач SYM-18H+ має низький коефіцієнт перетворення, та високий динамічний діапазон.

### 3.3. Вибір високочастотного перемикача

Вимоги до високочастотного перемикача такі: низькі втрати, висока розв'язка між портами, відносно високе значення вхідної потужності.

Розглянемо перемикачі від фірми psemi, рис.9. [5]

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА61.461150.001 ПЗ

Лист

13

PRODUCT ▲▼	DATASHEET ▲▼	FUNCTION ▲▼	TYPE ▲▼	DESCRIPTION ▲▼	FREQUENCY RANGE (MHZ)		INSERTION LOSS (DB)		ISOLATION (DB)		P1/0.1DB (DBM) ▲▼	IP3 (DBM) ▲▼	PACKAGE ▲▼		PACKAGE (MM) ▲▼
					MIN ▲▼	MAX ▲▼	MIN ▲▼	MAX ▲▼	MIN ▲▼	MAX ▲▼					
PE42723			SPDT (R)	75Ω	High Linearity	5	1794	0.1	0.4	34.0	54.0	38.0	84	12L QFN	3x3
PE42724			SPDT (R)	75Ω	High Linearity	5	1794	0.1	0.4	19	39	38.0	84	12L QFN	3x3
PE42722			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	High Linearity	5	1794	0.2	0.85	29.0	50.0	41.0	84	32L QFN	5x5
PE423422			SPDT (R)	50Ω	AEC-Q100, Grade 2	100	6000	0.25	0.90	17	44	34	73.5	12L QFN	2x2
PE42422			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	5	6000	0.25	0.9	17.0	44.0	34.0	70	12L QFN	2x2
PE42427			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	5	6000	0.25	0.9	17.0	44.0	34.0	70	12L QFN	2x2
PE42823			SPDT (R)	50Ω	High Power	700	6000	0.25	0.53	22	59	46	70	16L QFN	3 x 3
PE42850			SPST (R)	50Ω or 75Ω	High Power	30	1000	0.25	0.35	30.0	36.0	45.5	42	32L QFN	5x5
PE42851			SPST (R)	50Ω or 75Ω	High Power	100	1000	0.25	0.4	30.0	36.0	45.5	42	32L QFN	5x5
PE42426			SPDT (R)	50Ω	High Linearity	5	6000	0.3	0.75	17	33	40	83	12L QFN	3x3
PE42820			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	High Power	30	2700	0.3	0.7	24.0	35.0	45.5	85	32L QFN	5x5
PE42359			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	AEC-Q100, Grade 2	10	3000	0.35	1.1	14.0	35.0	33.5	55	6L SC-70	1.25x2
PE42421			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	10	3000	0.35	0.5	20.0	30.0	30.5	55	6L SC-70	1x2
PE4259			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	10	3000	0.35	0.8	20.0	30.0	30.5	55	6L SC-70	1x2
PE42721			SPDT (A)	75Ω	Low Insertion Loss	5	2200	0.4	0.65	53.0	85.0	27.0	60	12L QFN	3x3
PE42821			SPDT (R)	50Ω or 75Ω	High Power	100	2700	0.4	0.8	24.0	35.0	45.5	82	32L QFN	5x5
PE42430			SP3T (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	100	3000	0.45	0.55	30.0	40.0	30.0	66	8L DFN	1.5x1.5
PE42440			SP4T (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	50	3000	0.45	0.85	22.0	34.0	41.5	67	16L QFN	3x3
PE42641			SP4T (R)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	100	3000	0.45	0.55	27.5	35.0	-	-	16L QFN	3x3
PE42742			SPDT (A)	75Ω	Unpowered Operation	5	2200	0.45	1.7	53.0	94.0	32.0	53	20L QFN	4x4
PE423641			SP4T (R)	50Ω or 75Ω	AEC-Q100, Grade 2	50	3000	0.5	0.95	22.0	32.0	37.0	68	16L QFN	3x3
PE4256			SPDT (A)	50Ω or 75Ω	Low Insertion Loss	5	3000	0.5	1.1	52.0	80.0	31.0	55	20L QFN	4x4
PE4270			SPST (A)	75Ω	Low Insertion Loss	1	3000	0.5	0.7	63.0	90.0	30.0	-	6L DFN	3x3
PE4280			SPDT (A)	75Ω	High Isolation	5	2200	0.5	1.1	47.0	72.0	26.0	50	20L QFN	4x4

Рис. 9

Із перелічених варіантів найкраще підходить PE4259, оскільки PE4259 має низьку вартість, велику розв'язку між портами у нашому діапазоні частот, низькі втрати та відносно високий рівень вхідної потужності.

### 3.4. Вибір підсилювачів драйверного каскаду

Відповідно до технічного завдання вихідна потужність драйверного каскаду становить 0.1Вт.

Розрахунок передавача починається із потужності, яку потрібно отримати на навантаженні. Для простоти розрахунків перейдемо із ват в дБм. Отже, 0.1Вт дорівнює 20дБм. Розглянемо підсилювачі від фірми MiniCircuits. Рис.10.

Model Number	F Low (MHz)	F High (MHz)	Gain (dB) Typ.	NF (dB) Typ.	P1dB(dBm) Typ.	OIP3 (dBm) Typ.	Input VSWR (:1) Typ.	Output VSWR (:1) Typ.	Voltage (V)	Current (mA)	Case Style
HKG-242+	700	2400	15	2.3	22.8	46.5	1.9	1.4	5	144	LZ16/1
LEE-9+	DC	8000	8.4	5.3	13.9	29.7	1.2	1.2	4	50	FG873
LEE-19+	DC	8000	12	6.5	10.2	24.5	1.5	1.4	3.6	40	FG873
LEE-29+	DC	8000	15.4	5.5	10.9	25.5	1.4	1.3	3.6	40	FG873
LEE-39+	DC	8000	20.8	2.4	10.4	23.4	1.3	1.3	3.5	35	FG873
LEE-49+	DC	5000	14	5.5	16.4	33	1.6	1.4	4.9	65	FG873
LEE-59+	DC	5000	19.7	4.5	17.3	33	1.5	1.5	4.8	65	FG873
LEE2-6+	DC	7000	18.9	2.3	2.8	17.6	1.33	1.54	3.6	16	MC1630-1
LHA-1+	50	6000	14.1	2.1	22.7	40	1.7	1.4	5	146	FG873
LHA-1H+	50	6000	12.2	2.5	22.7	40.9	1.87	1.27	5	145	FG873
LHA-13HLN+	1	1000	22.7	1.2	28	43.3	1.28	1.32	8	239	DQ1225

Рис.10.

Найкраще всього підходить LHA-1+.

Підсилювач LHA-1+ має коефіцієнт підсилення 15 дБ, отже для отримання потужності 20Дбм на виході на вхід підсилювача необхідно подати сигнал потужністю  $P_{вхдБм} = 20\text{дБм} - 15\text{дБ} = 5\text{дБм}$ . Для визначення необхідного коефіцієнта підсилення другого підсилювача необхідно розрахувати втрати в тракті перетворення частоти.

- Втрати в змішувачі  $K_{зм} - 5.4\text{дБ}$
- Втрати в аттенюаторі1  $K_{атт1} - 3\text{дБ}$
- Втрати в смуговому фільтрі  $K_{ф} - 3.3\text{дБ}$
- Втрати в перемикачі  $K_{пер} - 0.35\text{дБ}$
- Втрати в аттенюаторі2  $K_{атт2} - 3\text{дБ}$

Загальні втрати в перетворювачі частоти:

$$K_{прч} = K_{зм} + K_{атт1} + K_{ф} + K_{атт2} = -15.05\text{дБ}$$

Так як ми використовуємо змішувач, якому потрібний гетеродин з рівнем + 17Дбм, то для забезпечення лінійного перенесення спектру сигнал на вхід ПЧ повинен бути на 20дБ нижчий сигналу гетеродина  $P_{пч} = 17\text{дБм} - 20\text{дБ} = -3\text{дБм}$ .

Отже, з урахуванням втрат, на виході перетворювача частоти буде потужність  $P_{прч} = K_{прч} + P_{пч} = -18.05\text{дБм}$ .

Розрахуємо коефіцієнт підсилення другого підсилювача за формулою:

$$K_{п2} = P_{вхдБм} - P_{прч} = 23\text{дБ}$$

Серед розглянутих підсилювачів на рис.19, найкраще підходить LEE-39+.

## 4.Розробка-розрахунок схеми фільтра

### 4.1.Розрахунок фільтра зосередженої селективності

Відповідно до ТЗ

- $\sigma_{зк} \geq 60$  дБ
- Діапазон робочих частот  $F_{счmin}=144$ МГц,  
 $F_{счmax}=145$  МГц
- Діапазон проміжної частоти  $F_{пчmin}=28$ МГц,  
 $F_{пчmax}=30$ МГц.

Розрахуємо центральну частоту діапазону за формулою[6]:

$$F_{счсер} = \frac{F_{счmax} + F_{счmin}}{2}$$
$$F_{счсер} = \frac{146 + 144}{2} = 145 \text{ МГц}$$

Розрахуємо центральну частоту проміжної частоти за формулою:

$$F_{пчсер} = \frac{F_{пчmax} + F_{пчmin}}{2}$$
$$F_{пчсер} = \frac{30 + 28}{2} = 29 \text{ МГц}$$

Розрахуємо узагальнену розстрочку для дзеркального каналу за формулою:

$$y = \frac{F_{счсер} + 2 \times F_{пчсер}}{F_{счсер}} - \frac{F_{счсер}}{F_{счсер} + 2 \times F_{пчсер}}$$
$$y = \frac{145 + 2 \times 29}{145} - \frac{145}{145 + 2 \times 29} = 0.69$$

Розрахуємо еквівалентну добротність фільтра за формулою:

$$Q_e = \frac{F_{счсер}}{F_{счmax} - F_{счmin}}$$
$$Q_e = \frac{145}{146 - 144} = 72.5$$

Розрахуємо необхідну кількість контурів у фільтрі.

Перевіримо, чи вистачить одиночного резонансного контуру для забезпечення необхідної вибіркості.

$$\sigma_{зк1} = \sqrt{1 + Qe^2 \times y^2}$$

$$\sigma_{зк1} = \sqrt{1 + 72.5^2 \times 0.69^2} = 49$$

Переведемо в децибели за формулою  $\sigma_{зк1ДБ} = 20\text{Log}(\sigma_{зк1})$

$$\sigma_{зк1ДБ} = 20\text{Log}(49) = 34\text{дБ}$$

$$\sigma_{зк} \geq 60 \text{ дБ} \neq 34\text{дБ}$$

Отже, одиночний резонансний контур не задовольняє визначені нами умови. Отже, перейдемо до двох контурної схеми. Перевіримо чи задовільнить нас двоконтурна схема за формулою:

$$\sigma_{зк2} = \frac{1}{2} \sqrt{4 + Qe^4 \times y^4}$$

$$\sigma_{зк2} = \frac{1}{2} \sqrt{4 + 72.5^4 \times 0.69^4} = 1215$$

Переведемо в децибели за формулою:

$$\sigma_{зк2ДБ} = 20\text{Log}(\sigma_{зк2})$$

$$\sigma_{зк2ДБ} = 20\text{Log}(1215) = 62\text{дБ}$$

$$\sigma_{зк} \geq 60 \leq \text{дБ} 61\text{дБ}$$

Отже, у дипломному проекті використаємо двоконтурний фільтр.

#### **4.2. Перевірка розрахунку фільтра зосередженої селективності.**

Перевірку розрахунку фільтра проведемо в САПР NI AWR DesignEnvironment.

У робочому вікні зображеному на рис.11 виберемо такі параметри: тип фільтру смуговий, виконання на зосереджених елементах.

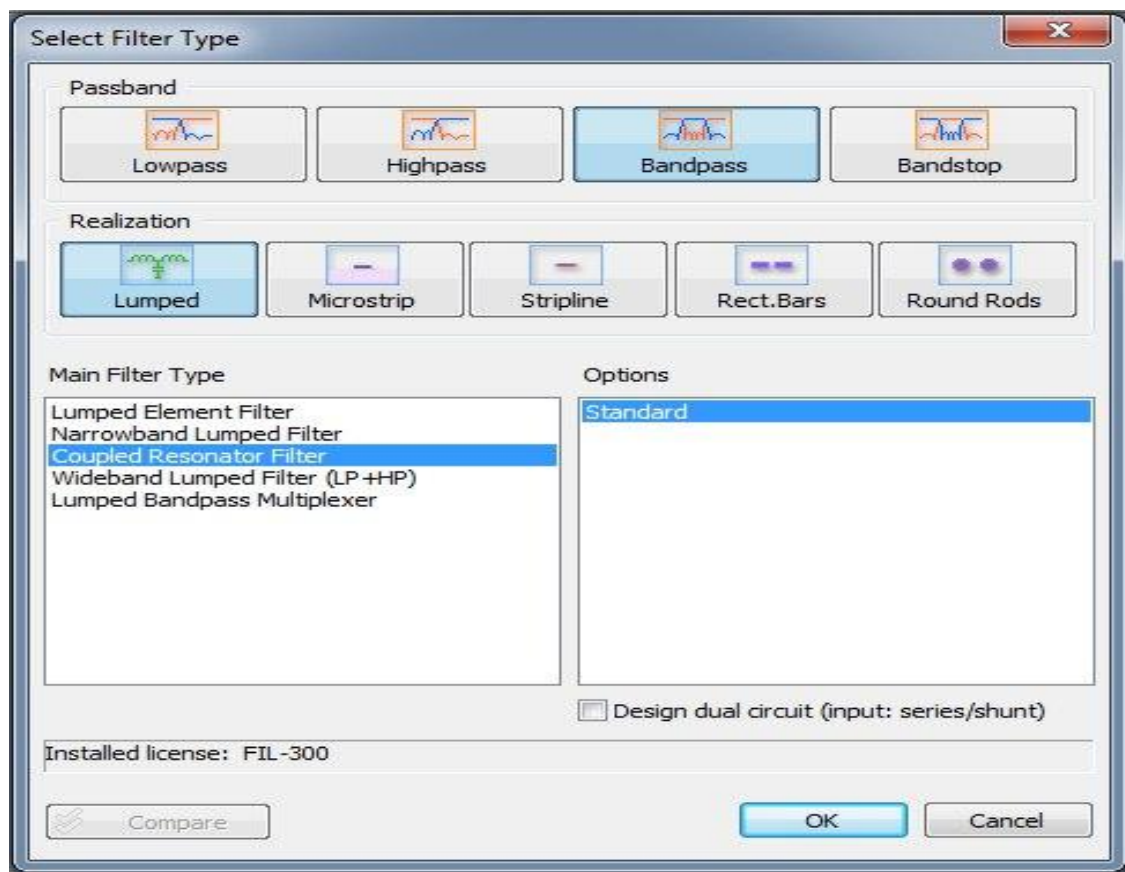


Рис.11.

Потім впишемо параметри в головне діалогове вікно, яке зображене на рис.12 та поставимо маркери на центральній частоті та частоті дзеркального каналу.

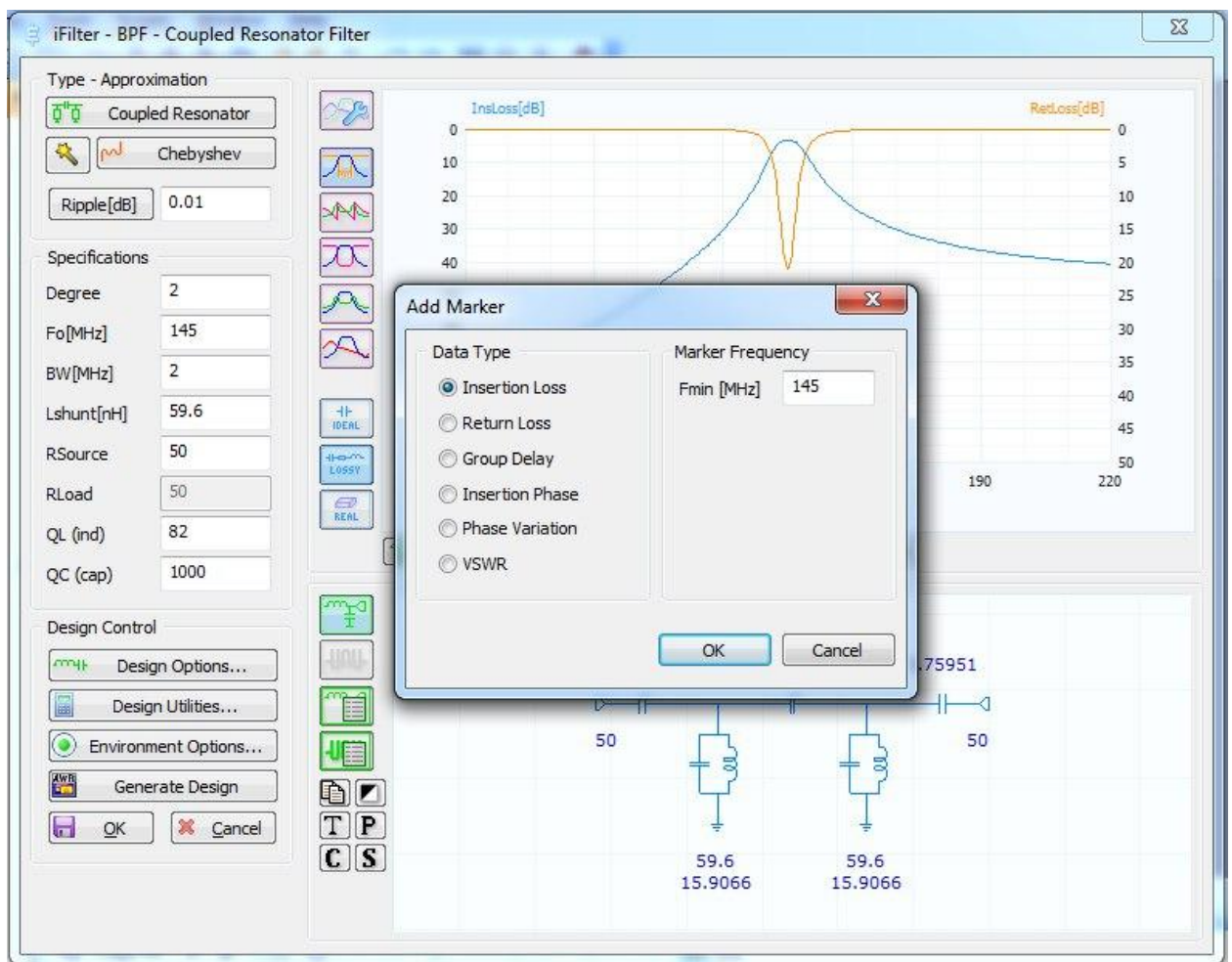


Рис.12.

Отриманий результат зображений на рис.13.



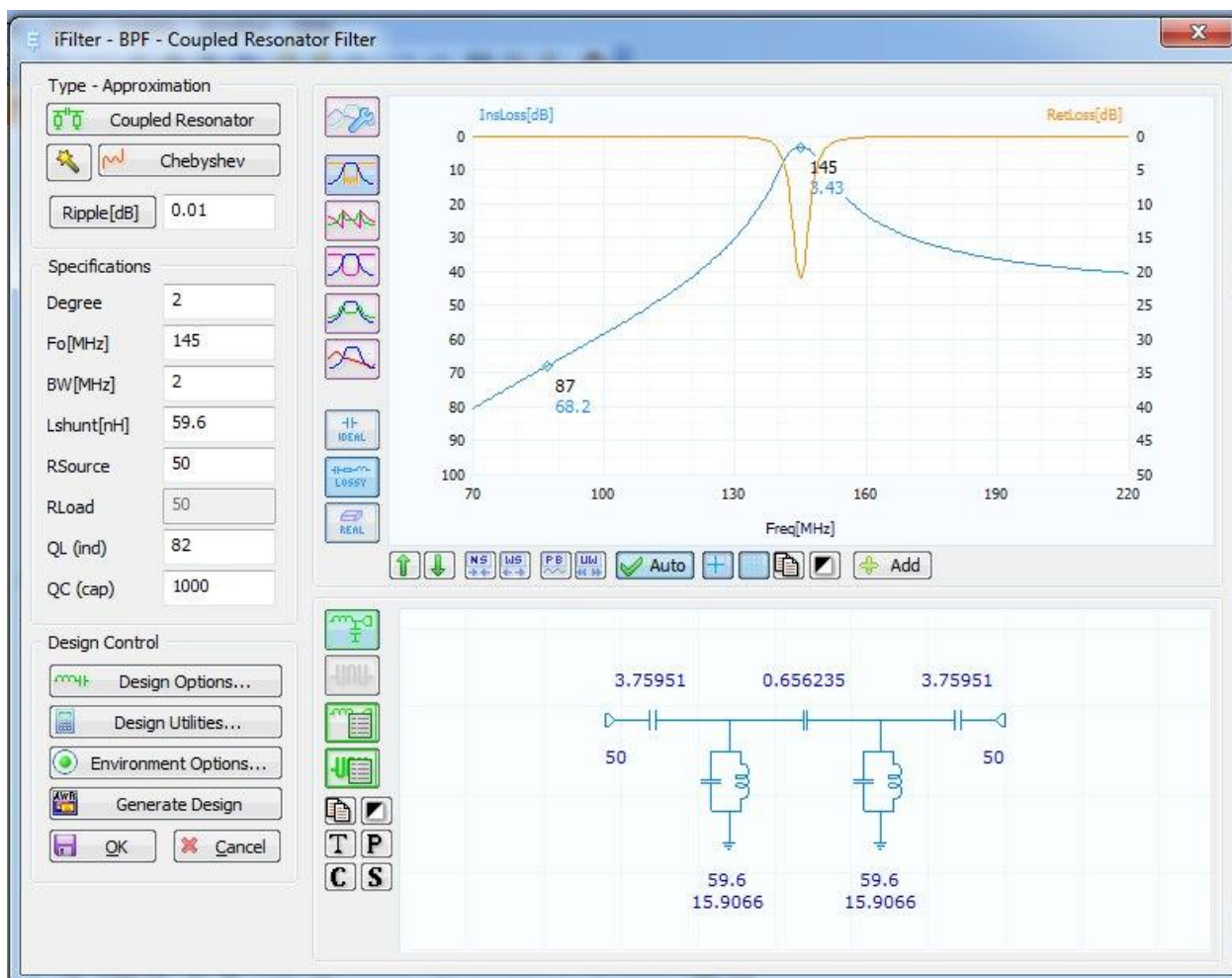


Рис.13.

Як ми бачимо на рис.13 селективність фільтру по дзеркальному каналу відповідає розрахованому значенню.

Тепер перенесемо фільтр із iFilterFilterWizard до AWR Microwave Office.

На рис.14 зображений фільтр, згенерований в середовищі AWR Microwave Office, графіки передатної функції та графік зворотних втрат.

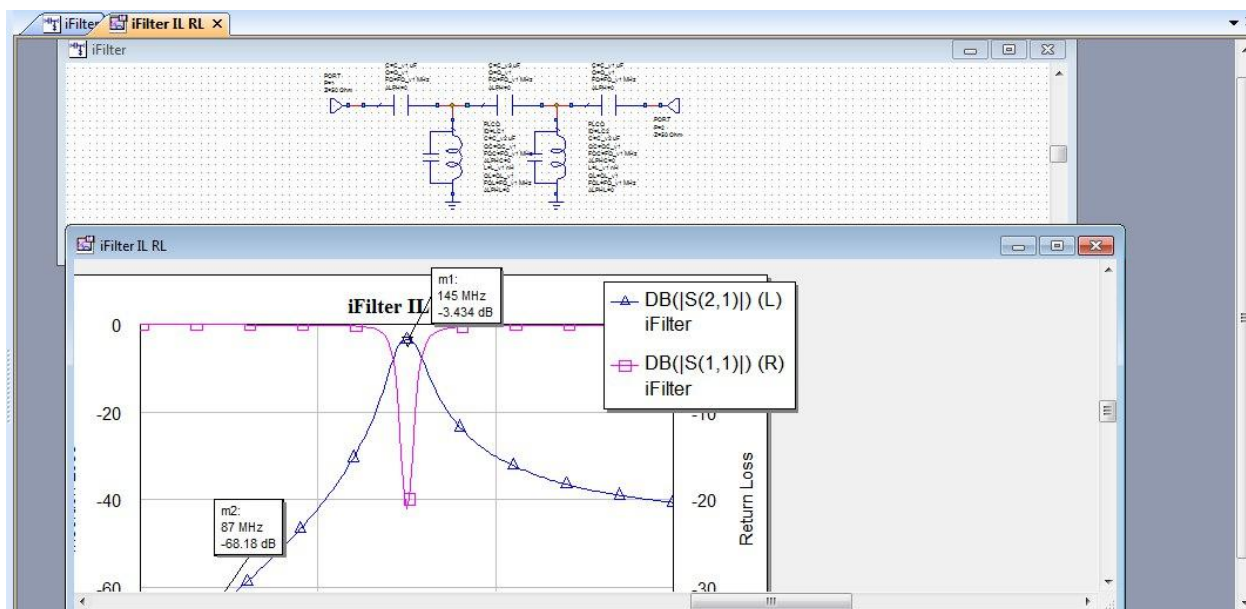


Рис.14.

На рис.15. зображена електрична схема фільтра

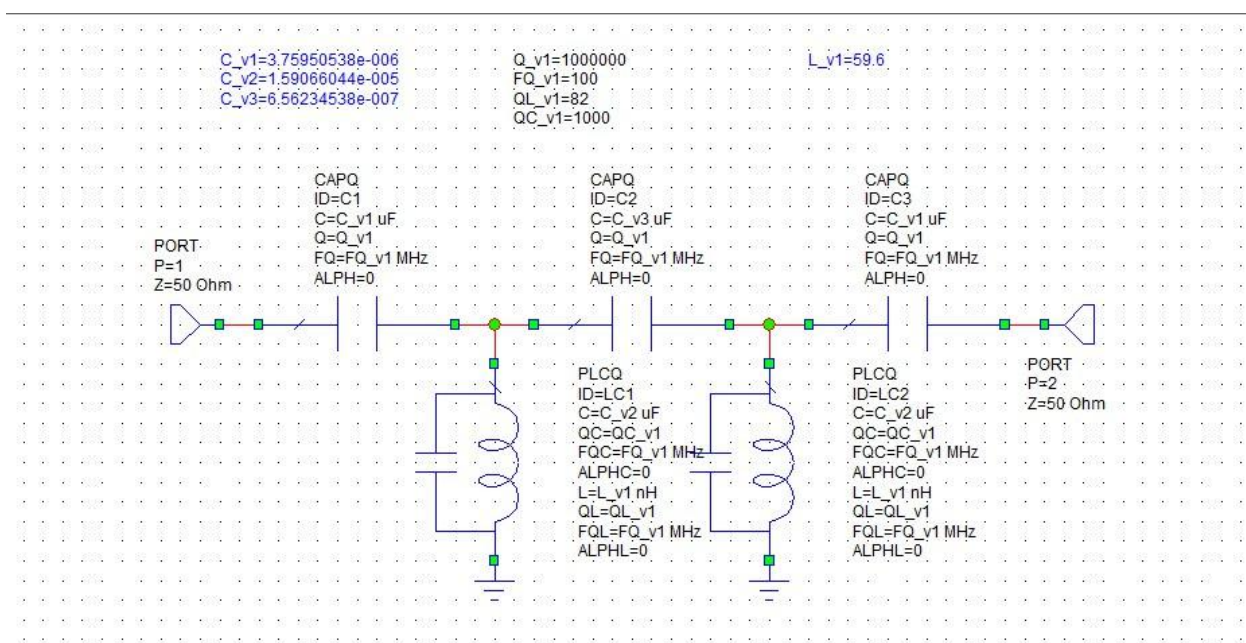


Рис.15.

Підставимо значення ємностей із ряду номіналів та подивимось, на скільки зміняться параметри фільтра. Як видно на рис.16 центральна частота знизилась до 144.3 МГц.

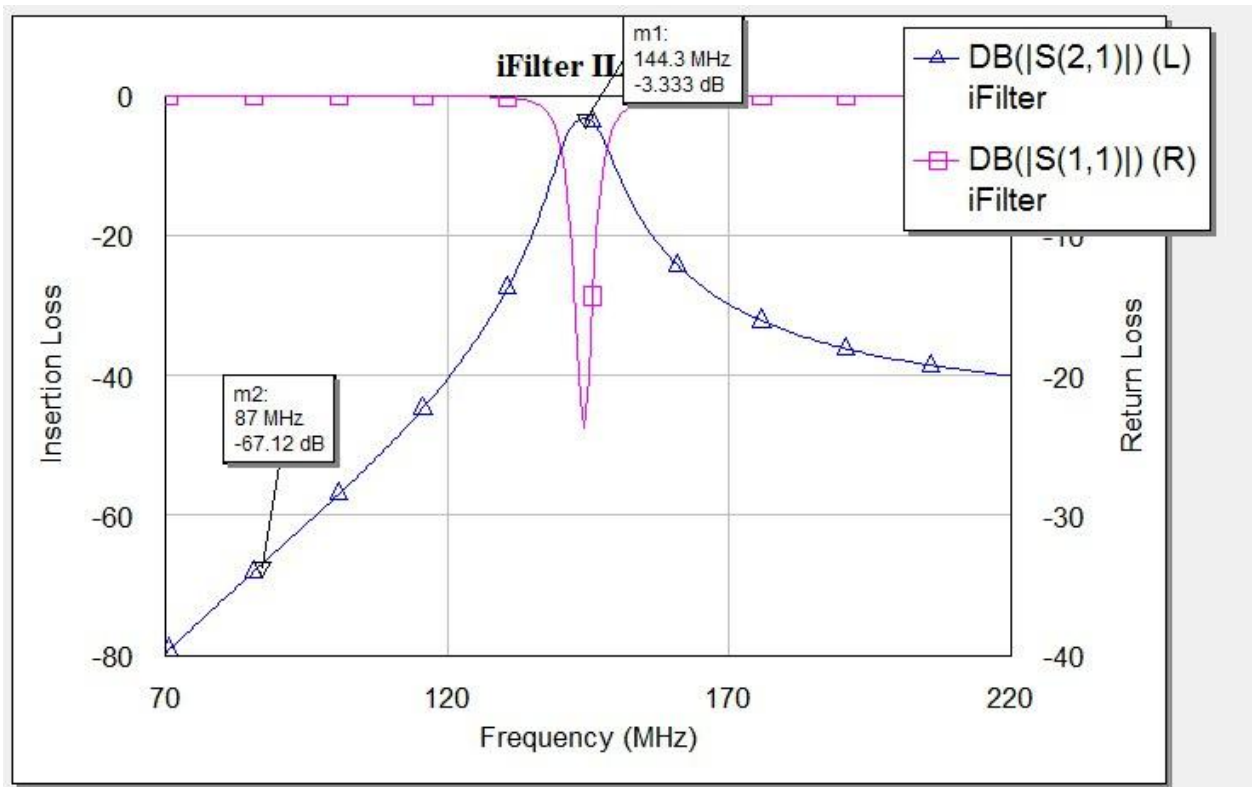


Рис.16.

За допомогою інструмента tune , повзунком, який змінює значення індуктивності, налаштуємо частоту на частоту 145 МГц. Налаштовані параметри фільтра зображені на рис.17.

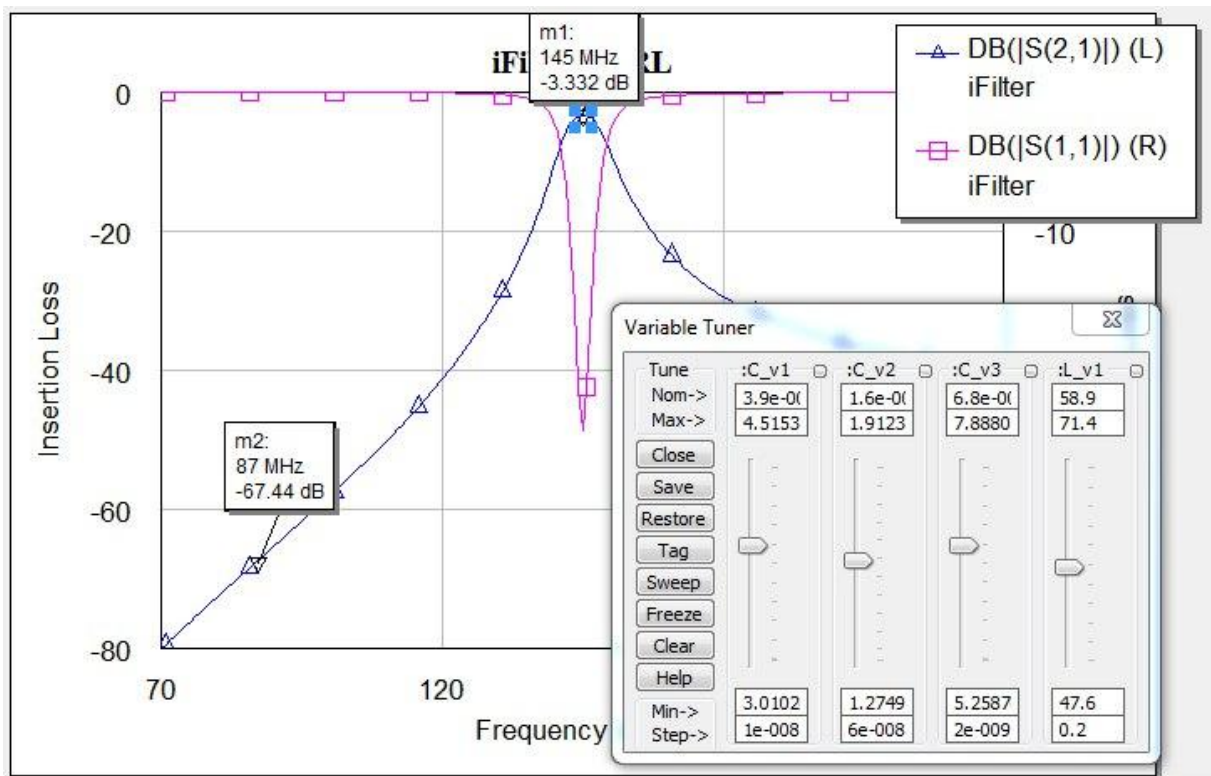


Рис.17.

За зображенням на рис. 17можемо зробити висновок, що параметри фільтра легко переналаштувалися на центральну частоту, а розраховані значення селективності по дзеркальному каналу менші, ніж показники моделі. Це свідчить про виконання поставленого завдання.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						23
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.Моделювання схеми трансвертера в середовищі ADISimRF

### 5.1. Моделювання прийомного тракту

Для того, щоб перевірити працездатність прийомного тракту та змоделювати його параметри, скористаємося ADISimRF.

Відповідно до datasheet на PGA-103+ підсилювач має такі параметри:

- Підсилення 25 дБ.
- Коефіцієнт шуму 0.5 дБ.
- Однодецибельна точка компресії 20дБм.
- Точка компресії третього порядку OIP3+ 36 дБм

Відповідно до datasheet на SYM-18H+змішувач має параметри:

- Підсилення -5.4 дБ.
- Коефіцієнт шуму 5.4 дБ.
- Однодецибельна точка компресії 23 дБм.
- Точка компресії третього порядку IP3+ 30 дБм

Підставимо параметри в ADISimRF, отриманий результат зображений на рис.18.

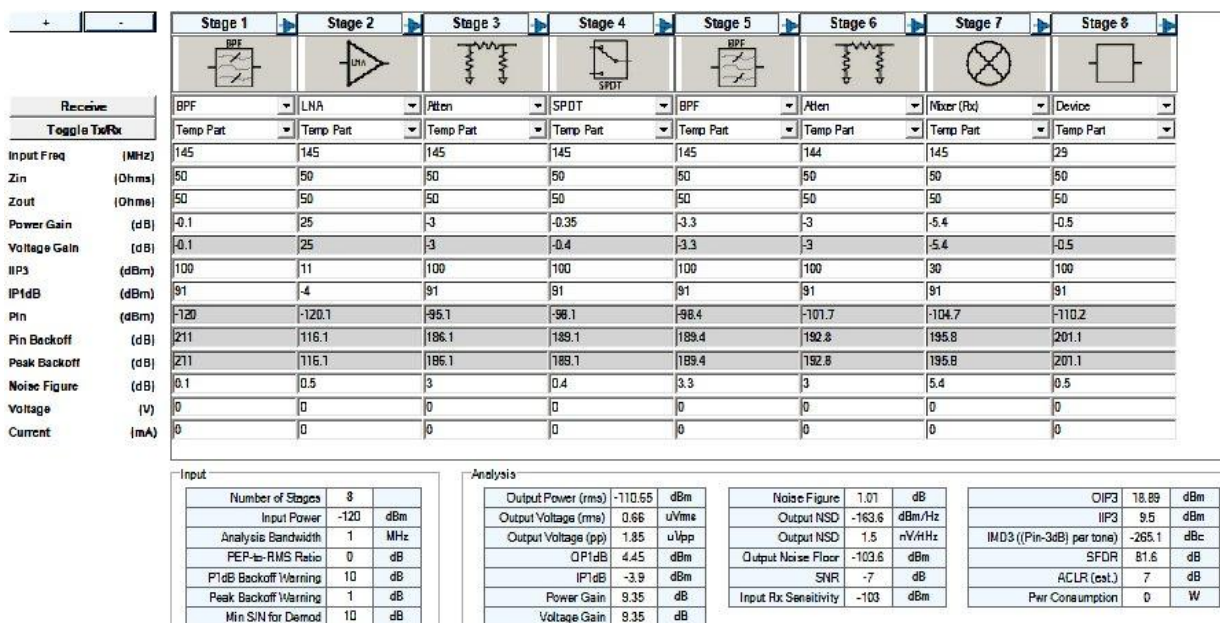


Рис.18.

Отримані результати

- Коефіцієнт шуму 1.0дБ
- Коефіцієнт перетворення 9.35дБ
- Точка компресії третього порядку OIP3 18.89дБм

## 5.2. Моделювання передавального тракту

Аналогічно розрахуємо передавальний тракт.

Відповідно до datasheet на LEE-39+ підсилювач має параметри:

- Підсилення 23.4 дБ.
- Коефіцієнт шуму 2.5 дБ.
- Однодецибельна точка компресії 15дБм.
- Точка компресії третього порядку OIP3+ 36 дБм

Відповідно до datasheet на LNA-1+ підсилювач має параметри:

- Підсилення 15 дБ.
- Коефіцієнт шуму 2.5 дБ.
- Однодецибельна точка компресії 22дБм.
- Точка компресії третього порядку OIP3+ 40 дБм

Підставимо параметри в ADISimRF, отриманий результат зображений на рис. 19.

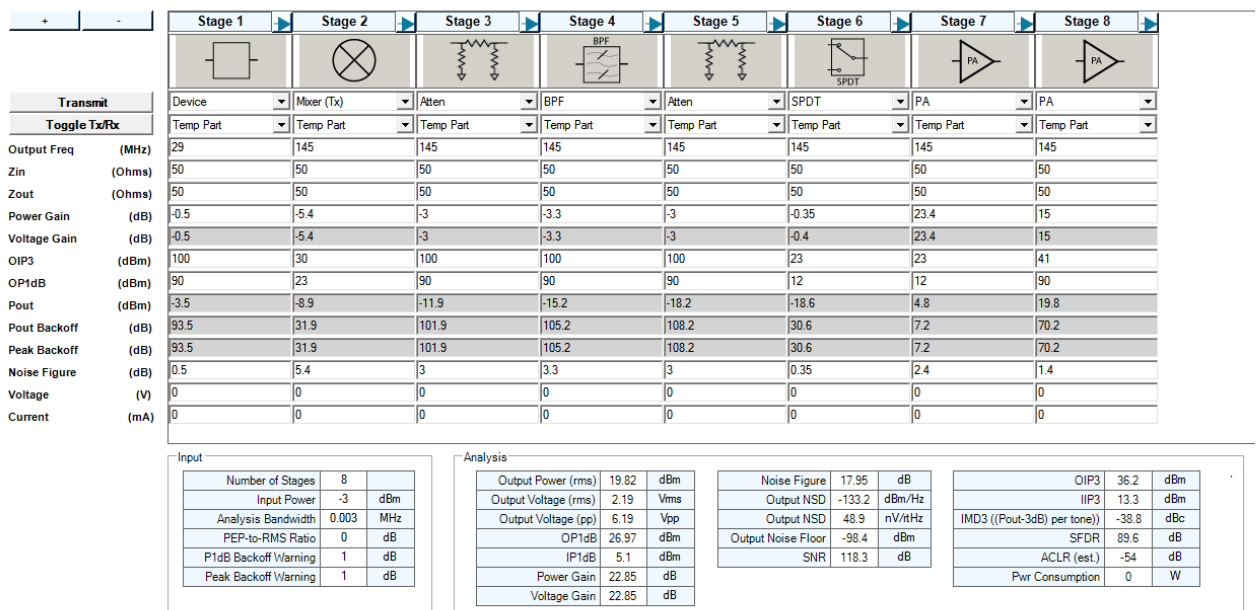


Рис.19.

Отримані результати:

- Коефіцієнт підсилення 22.85дБ
- Вихідна потужність 19.82дБм , при вхідній -3дБм

Отримана модель відповідає поставленим завданням.



## 6.Розробка друкованої плати

### 6.1.Вибір методу виготовлення друкованої плати

Для виготовлення друкованої плати даного пристрою вибирається субтрактивний комбінований позитивний метод.

Комбінований позитивний метод є основним при виготовленні двосторонніх друкованих плат та односторонніх друкованих плат з підвищеними вимогами до надійності.

### 6.2. Вибір виду матеріалу для друкованої плати

Для виготовлення даного приладу обирається двостороння друкована плата з металізованими отворами, оскільки у пристрої використовуються мікросмужкові лінії, яким необхідна нижня металізація, що в свою чергу буде загальною землею.

Для друкованої плати обирається склотекстоліт фольгований з мідною електролітичною фольгою, двосторонній FR-4 35/35-1 . Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, високий поверхневий опір.

### 6.3.Розрахунок необхідної площі плати і вибір її розмірів

Спочатку розраховуємо необхідну площу  $S_m$  для розміщення ЕРЕ, для цього знаходимо суму встановлювальних площ всіх ЕРЕ, яка приведена в таб.1.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						27
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



Тип	корпус	кількість	Загальна площа мм <sup>2</sup>
Всі резистори крім R10,R11,R14,R15, R32,R33, R34, R35	0805	15	35
R10,R11,R14,R15	0603	4	5.12
R32,R33, R34, R35	2512	4	81.28
Всі конденсатори крім C16	0805	24	56.6
C16	B	1	25
D1	Sot 23	1	3.7
D2	Sod 80	1	5.6
U1,U3	FG873	2	18.6
U2	sot 89	1	5.6
U4	SOT-323-6	1	4.2
U5	TTT167	1	30
J1,J2,J7,J8	SMA	4	144
J3,J6	U.FL	2	13.52
L1,L3,L4,L8,L7	0805	5	57.6
L2	1210	1	8
L5,L6	-	2	100
K1	-	1	120

Таб.1.

Визначивши встановлювану площу кожного ЕРЕ, визначаємо необхідну площу для їх встановлення. Для цього використовуємо формулу:

$$S_{\text{мін}} = S_{\text{мг}} + 1,5S_{\text{сг}} + 2S_{\text{кг.}}$$

Де

- $S_{\text{мг}}$  – площа малогабаритних ЕРЕ
- $S_{\text{сг}}$  – площа середньогабаритних ЕРЕ
- $S_{\text{кг}}$  – площа крупногабаритних ЕРЕ

$$S_{\text{мг}} = 35 + 5.12 + 81.28 + 56.6 + 25 + 3.7 + 5.6 + 18.6 + 5.6 + 4.2 + 144 + 57.6 + 8 = 450 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{ст}} = 1.5 \times (30 + 100 + 200) = 495 \text{ мм}^2$$

$$S_{\text{мін}} = 450 + 495 = 945 \text{ мм}^2$$

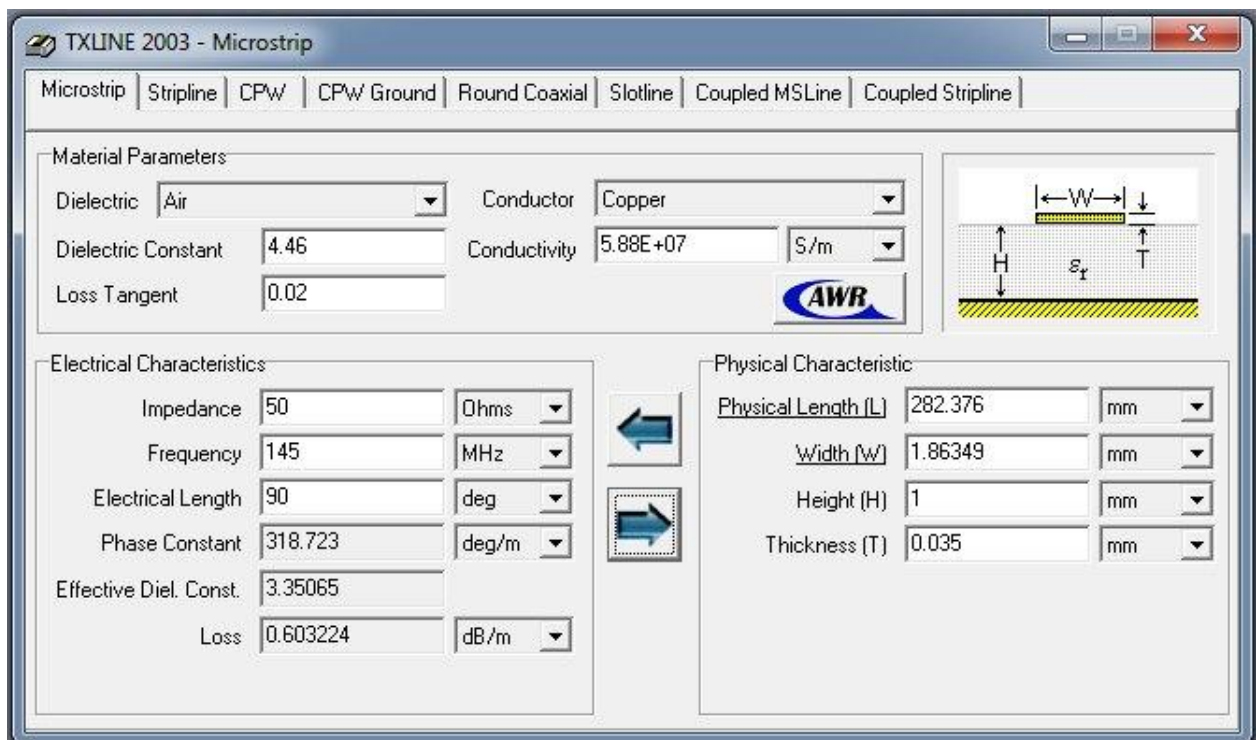
Отже, оберемо розмір друкованої плати 100x100 мм.

#### 6.4. Розрахунок мікросмужкової лінії в програмі Txline

Вхідні дані для розрахунку

- Товщина діелектрика 1 мм
- Товщина провідника 0.035 мм
- Діелектрична проникність  $\epsilon_r$  4.46
- Втрати в діелектрику  $\text{tg} \delta$  0.020
- Матеріал провідника мідь
- Імпеданс 50 Ом

Розраховані дані зображені на рис.20.



### 6.5.Трасування плати в САПР Kicad

Для того, щоб створити друковану плату, необхідно нарисувати електричну принципову схему, призначити елементам свої посадкові місця та виконати нумерацію елементів за правилом зверху в низ з ліва на право. Потім формується Net list, а вже після цього можна приступати до трасування плати.

Спочатку розмітимо контур друкованої плати та розставимо установчі отвори для кріплення. Потім потрібно розставити роз'єми, а потім решту компонентів у верхньому шарі. З'єднуємо доріжками компоненти, після цього робимо нижній земляний полігон по всій поверхні плати. Готовий результат зображений на рис.21.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						30
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

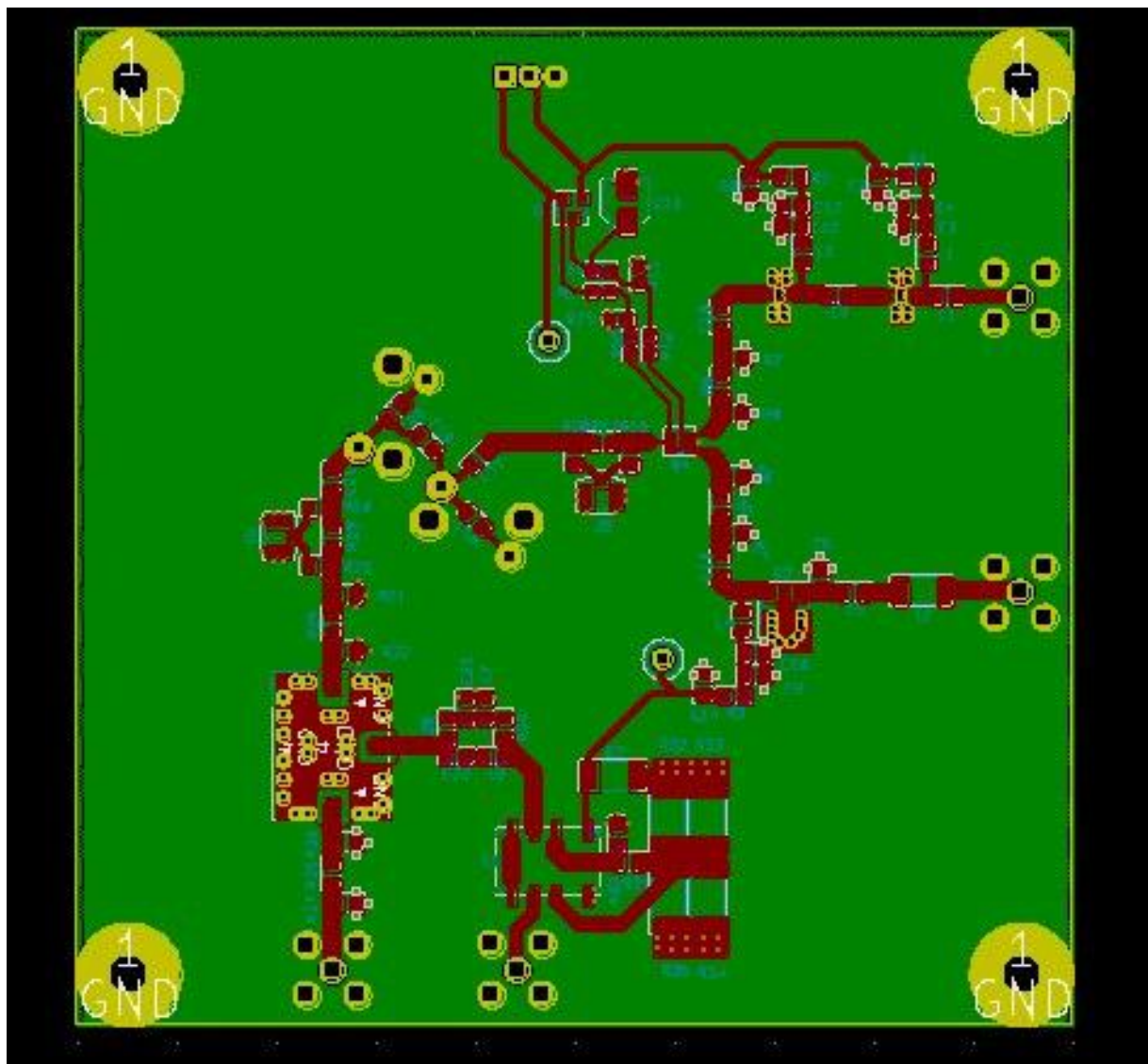


Рис.21.

Зробимо 3Д модель друкованого вузла в середовищі Kicad, готовий результат зображений на рис.22.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА61.461150.001 ПЗ

Лист

31

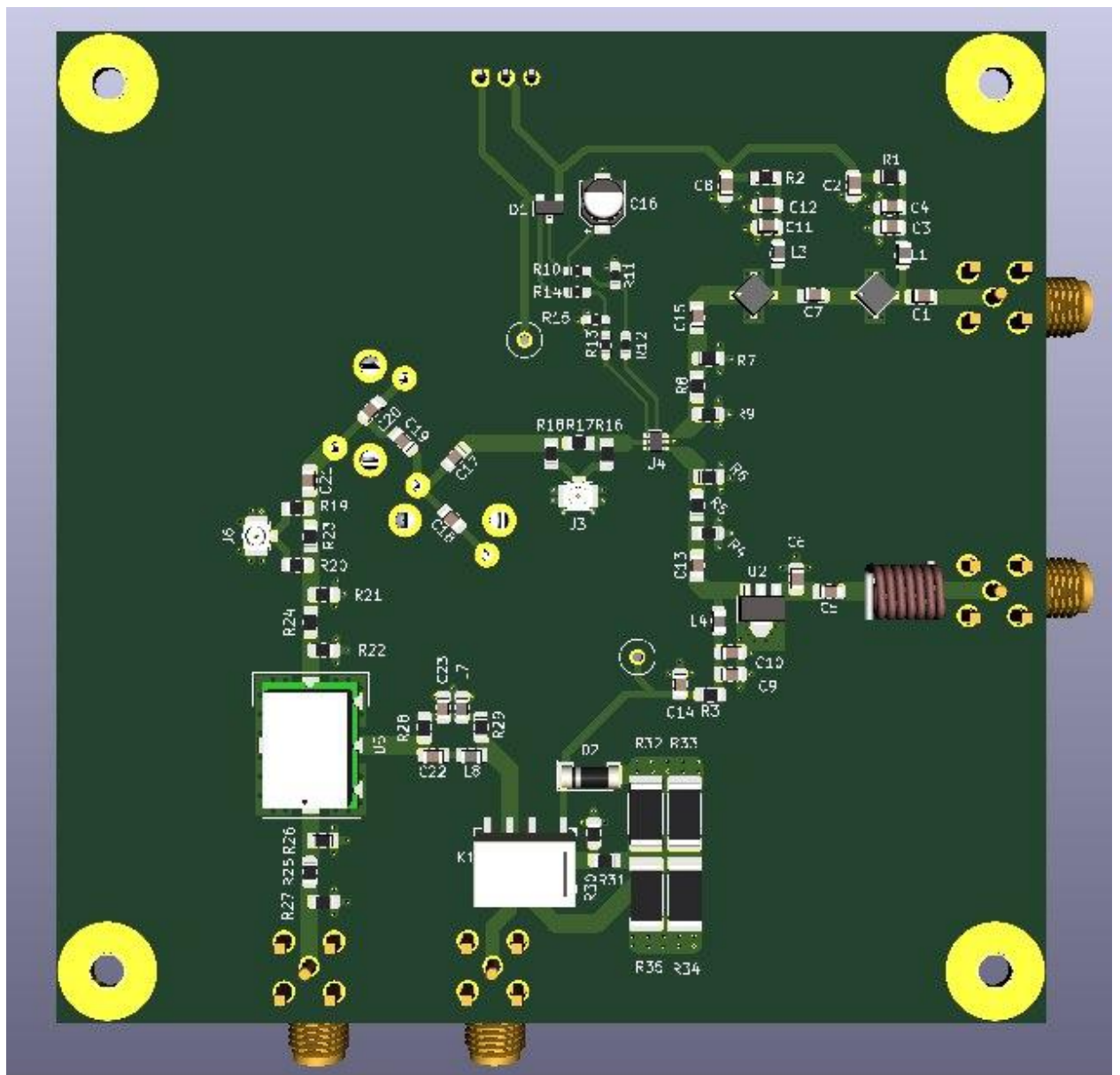


Рис.22. верхній вид

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА61.461150.001 ПЗ

Лист

32

На рис.23 зображена нижня сторона друкованого вузла

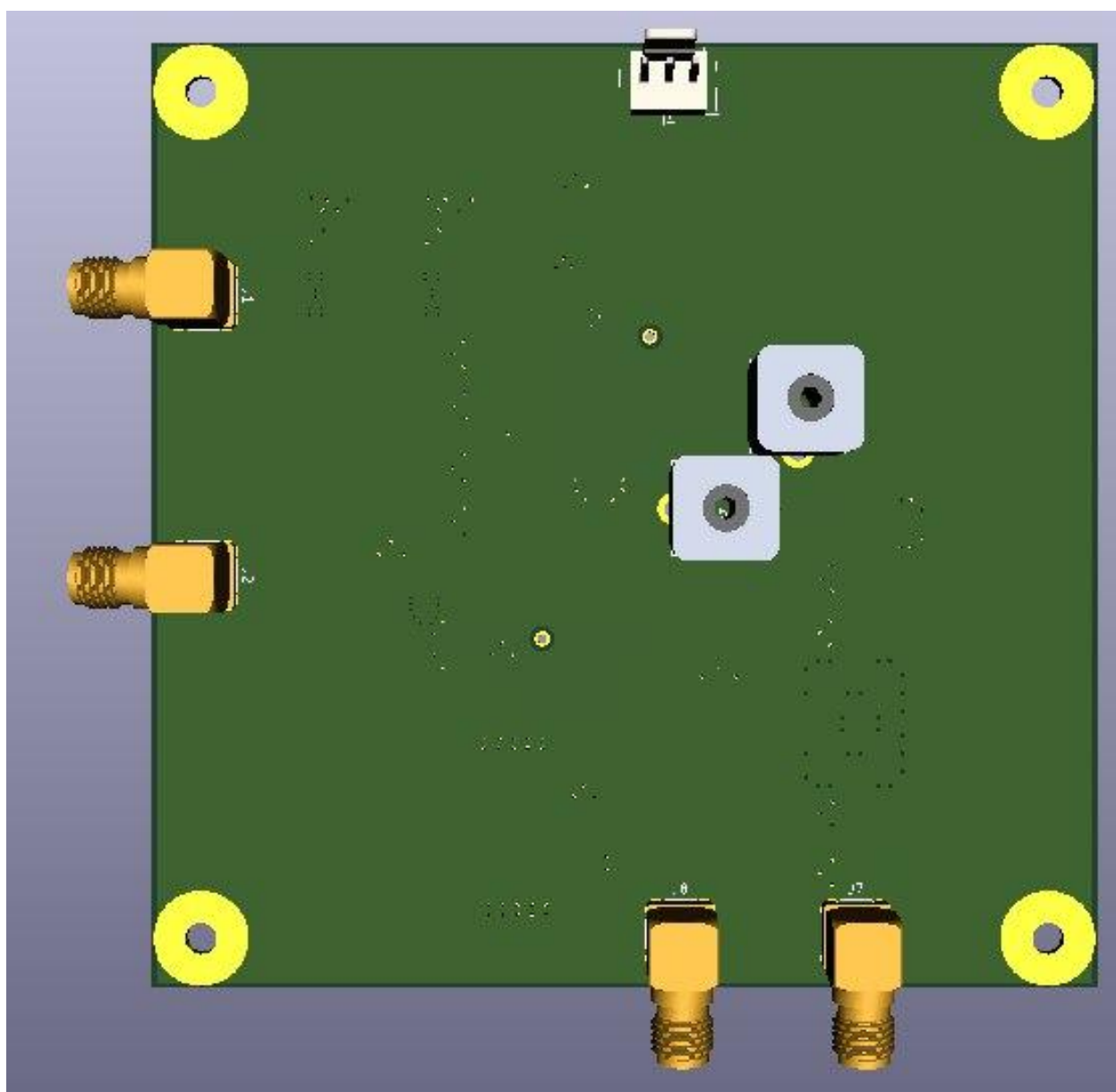


Рис.23.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА61.461150.001 ПЗ

Лист

33

На рис.24, зображений вид з боку

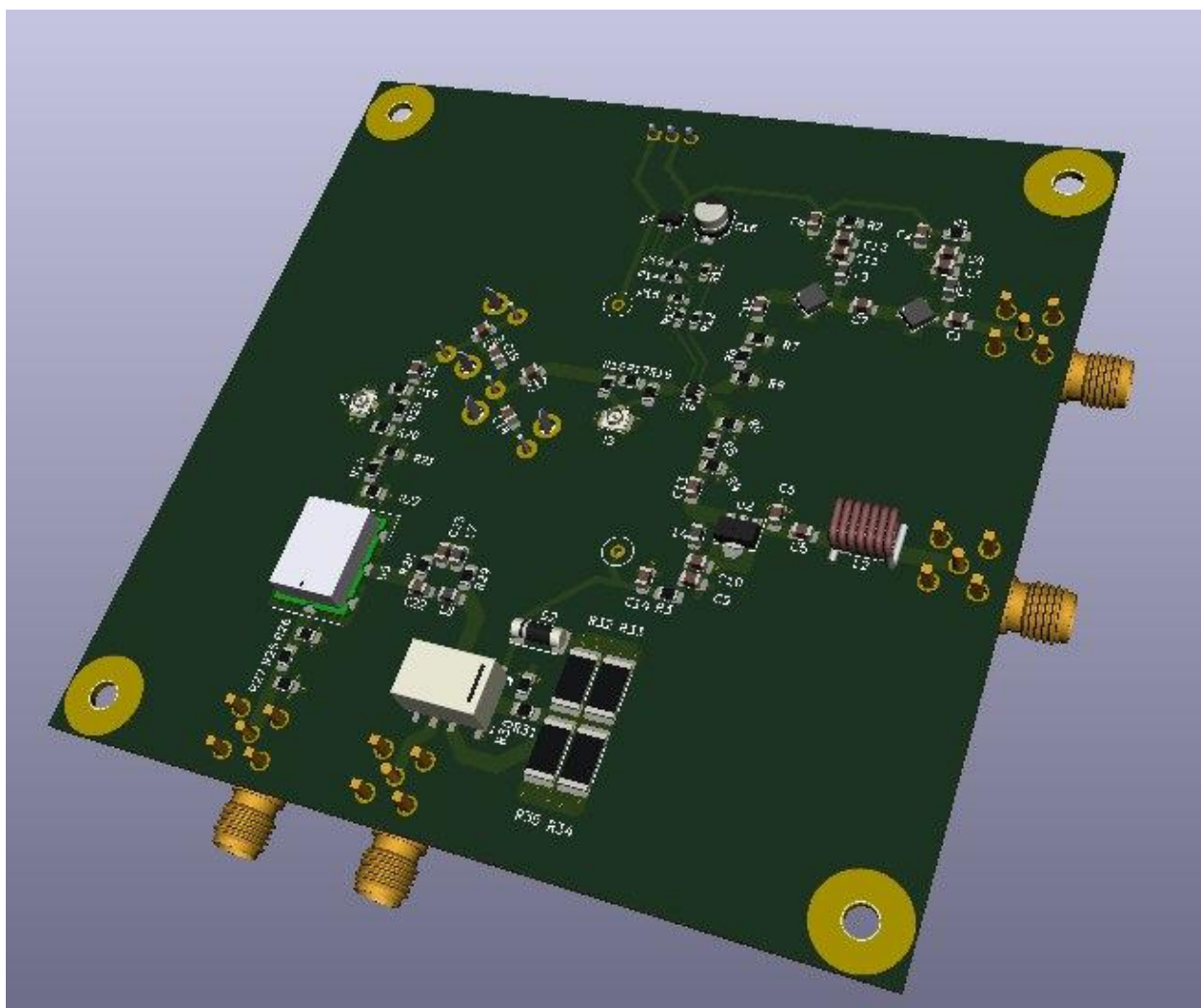


Рис.24.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

РА61.461150.001 ПЗ

Лист

34

## 6.6.Розрахунок віброміцності електронного модуля

Вхідні дані:

- Довжина плати  $a=0.1\text{ м}$
- Ширина плати  $b=0.1\text{ м}$
- Товщина плати  $h=1\cdot 10^{-3}$

Матеріалом друкованої плати обрано фольгований двосторонній скло-текстоліт FR4 з такими параметрами:

- Щільність  $\rho=2.05\cdot 10^3\text{ кг/м}^3$
- Модуль Юнга  $E=3.02\cdot 10^{10}\text{ Н}\cdot\text{м}^2$
- Коефіцієнт Паусона  $\xi=0.22$

Маса елементів на платі  $M_e=0.03\text{ кг}$

Визначимо приведену масу друкованої плати:

$$M_n=\rho\cdot h=2.05\cdot 10^3\cdot 1\cdot 10^{-3}=2.05\text{ кг/м}^2$$

Визначимо приведену масу плати з деталями

$$M=M_n+M_e/a\cdot b=2.05+0.03/0.1\cdot 0.1=5.05\text{ кг/м}^3$$

Розрахунок циліндричної жорсткості:

$$D = \frac{E \times h^3}{12(1-\xi^2)} = \frac{3.02 \cdot 10^{10} \times 1 \times 10^{-3^3}}{12(1-0.22^2)} = 2.65\text{ Н}\cdot\text{м}$$

Визначимо значення функції  $\varphi(\beta)$  для кріплення плати в чотирьох точках:

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \times \sqrt{\frac{1 + 1.621 \times \frac{\xi}{\beta} + \frac{1}{\beta^2}}{1 + 1.621 \times \frac{1}{\beta^3} + \frac{1}{\beta^6}}}$$

Де  $\beta= a/ b$  відношення сторін плати  $\beta= 0.1/0.1=1$

$$\varphi(\beta) = \pi^2 \times \sqrt{\frac{1 + 1.621 \times \frac{0.22}{1} + \frac{1}{1^2}}{1 + 1.621 \times \frac{1}{1^3} + \frac{1}{1^6}}} = 7.9$$



Розрахуємо резонансну частоту плати:

$$f_0 = \frac{\varphi}{2\pi \times a^2} \times \sqrt{\frac{D}{M}}$$

$$f_0 = \frac{\varphi}{2\pi \times 0.1^2} \times \sqrt{\frac{2.65}{5.05}} = 92 \text{ Гц}$$

Оскільки резонансна частота плати  $f_0 = 92$  Гц перевищує максимальну частоту вібраційних впливів ( $f = 60$  Гц), то обраний варіант кріплення плати влаштовує вимоги по віброміцності.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						36
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дотримання вимог щодо охорони праці є важливим компонентом будь-якого виробничого процесу, у тому числі процесу проектування, виготовлення і налагодження та експлуатації приладів. Відповідно до законодавства України охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Закон України «Про охорону праці» визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища й встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Дотримання безпечних умов праці є обов'язковим для будь-якого підприємства, а ухилення від їх виконання вважається тяжким злочином та переслідується адміністративним або кримінальним кодексом України [7].

У даному розділі визначимо основні потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають при проектуванні, виготовленні і налагодженні та експлуатації будь-якого приладу. У тому числі розглянемо вплив електромагнітного випромінювання; небезпеку ураження електричним струмом, психофізичні перевантаження. Розкриємо питання організаційних заходів з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, опишемо мікроклімат робочої зони та правила електробезпеки.

### 7.1. Основні потенційно небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Під час розробки, виготовлення, налагодження та експлуатації Трансвертера УКХ діапазону можуть мати місце такі потенційні небезпеки:

– наявність у повітрі шкідливих випаровувань;

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		37

– коротке замикання або ураження електричним струмом у випадку неналежної експлуатації та пошкодженні приладу або його дротів .

Оскільки робота над приладом передбачає використання комп'ютера, то, створюючи безпечні умови праці, необхідно враховувати основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що зумовлені роботою на ПЕОМ. Відповідно до ДСанПіН 3.3.2.007 - 98 до них відносять:

- механічні шуми, спричинені роботою принтера і вентиляційної системи комп'ютера;
- значну напругу зорових органів і пов'язане з цим перевтомлення;
- можливість поразки електричним струмом;
- значне навантаження на пальці і кисті рук, що за відсутності профілактики і медичного контролю, може викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одному й тому ж самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини [8].

Для уникнення впливу зазначених факторів на стан здоров'я працівника необхідно здійснювати ряд заходів щодо облаштування робочого місця. Розглянемо окремі технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, що необхідно здійснити для облаштування робочого місця.

## **7.2. Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії**

Відповідно п.2.3 ДСанПіН 3.3.2.007-98, площа на одне робоче місце має становити не менше ніж  $6,0 \text{ м}^2$ , а об'єм не менше ніж  $20,0 \text{ м}^3$ .

Розглянемо приміщення лабораторії, яке має наступні геометричні розміри: висота – 3,5 м, ширина – 5 м, довжина – 10 м. Отже, площа приміщення:  $S = 5 \cdot 10 = 50 \text{ м}^2$ . У лабораторії передбачено 4 робочі місця ( $N = 4$ ).

Розрахуємо фактичне значення площі та об'єму на кожне робоче місце:

$$S = \frac{5 \times 10}{4} = 12.5 \text{ м}^2$$

$$V = \frac{5 \times 10 \times 3.5}{4} = 43.75 \text{ м}^3$$

Порівняємо з нормативними даними:  $12,5 \text{ м}^2 > 6 \text{ м}^2$ ;  $43,75 \text{ м}^3 > 20 \text{ м}^3$ .

Отже, результати показали, що фактичні значення площі та об'єму приміщення лабораторії відповідають нормам.

### 7.3. Мікроклімат робочої зони

Одним із показників дотримання безпечних умов праці є стан мікроклімату робочої зони. Під мікрокліматом виробничих приміщень, згідно з Вимогами щодо безпеки здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, розуміють клімат внутрішнього середовища, що визначається діючими на організм людини температурою, вологістю, швидкістю руху повітря і тепловими випромінюваннями.

Параметри мікроклімату мають дуже широкий діапазон і впливають на працездатність, здоров'я та самопочуття працівників. Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 роботи, що виконуються, належать до категорії легких фізичних робіт Іа (роботи, при яких витрата енергії дорівнює 90 – 120 кал/год, виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження) [9].

Санітарними нормами визначені оптимальні параметри мікроклімату для даної категорії. Їх дані подаємо у таблиці.1.

Період року	Температура повітря не °С більше	Віднос-на вологість %	Швидкість руху повітря м/с
Холодний	22-24	40-60	$\leq 0.1$
Теплий	23-25	40-60	$\leq 0.1$

Таблиця 1.

Також санітарними нормами окреслені допустимі параметри мікроклімату (таблиця 2).

Період року	Температура повітря не°С більше	Віднос-на вологість%	Швидкість руху повітря м/с
Холодний	21-25	$\leq 75$	$\leq 0.1$
Теплий	22-28	$\leq 55$	$\leq 0.1$

Таблиця 2.

Наявність оптимальних і допустимих параметрів при забезпеченні мікроклімату робочої зони дозволяє облаштовувати робочі приміщення в різних кліматичних умовах та певним чином створити безпечні умови праці і в теплий, і в холодний періоди року. Задля цього робочі приміщення мають бути обладнані системою централізованого опалення та системою кондиціонування.

Завдяки застосуванню системи централізованого опалення в холодний період року і системи кондиціонування повітря в теплий період року, можна досягти таких фактичних даних мікроклімату на робочому місці, що відповідають оптимальним нормам мікроклімату.

#### 7.4. Електробезпека

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61140.2015 електроустаткування в робочому приміщенні, що нами досліджується має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення електроустаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ й НПАОП 40.1-1.21-98.

Робоче приміщення відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки ураження персоналу електричним струмом, оскільки у ньому відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, що мають контакт із землею, та до струмопровідних елементів електроустаткування. Окрім того, відсутні хімічно агресивні середовища (ПУЕ-2017) та відносна вологість повітря не перевищує 65%, температура не перевищує 25°С.

Живлення електроприладів у робочому приміщенні здійснюється від трьох-фазної мережі із глухо заземленою нейтраллю напругою 220 В і частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. У приміщенні застосована схема занулення.

Для більшої надійності безпечних умов праці у даному приміщенні необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Це дозволить зменшити значення напруг дотику й відповідних їм величин струму при нормальному й аварійному режимах роботи електроустаткування. Виконаємо електричний розрахунок електромережі на перевірку вимикаючої здатності автоматів струмового захисту. Здатність аварійного вимикання мережі включас визначення значення струму КЗ і перевірку кратності його стосовно номінального струму пристроїв максимального струмового захисту. Вихідні дані для розрахунку

$U_{\phi} = 220 \text{ В}$  – фазова напруга;

номінальний струм спрацювання автомата захисту ( $I_{\text{ном}} = 20 \text{ А}$ ).

$R_{\phi} = 2,2 \text{ Ом}$  – активний опір фазного проводу;

$R_0 = 2,2 \text{ Ом}$  – активний опір нульового проводу;

$Z_m/3 = 0,14 \text{ Ом}$  – еквівалентний опір трансформатора.

Струм однофазного КЗ. визначається по формулі:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Z_m}{3}} = 48,7 \text{ А}$$

Для надійного спрацювання автомату струмового захисту повинна виконуватися умова  $I_{\text{КЗ}} > 1,4 \times I_{\text{ном}}$  (при  $I_{\text{КЗ}} < 100 \text{ А}$ ), де  $I_{\text{ном}}$  - номінальний струм спрацювання автомату струмового захисту. У якості захисного пристрою встановлений автомат струмового захисту на 10 А.

$$\frac{I_{\text{КЗ}}}{I_{\text{ном}}} = 2,43$$

Отже, струм короткого замикання при виникненні аварійної ситуації в 2,43 рази перевищує номінальний струм спрацювання автомата, що задовольняє встановлені норми.

При однофазному КЗ максимальне значення напруги, яка з'явиться на корпусі при аварійному режимі за час спрацювання максимального струмового захисту,  $U_{\max}$ . щодо землі знаходимо за формулою:

$$U_{\max.} = I_{\text{кз}} \cdot R_0 = 48.7 \cdot 2,2 = 107 \text{ В.}$$

Напруга менша  $U_{\text{доп}} = 500 \text{ В}$  ( $t_{\text{дії}} < 0,1 \text{ сек.}$ ) відповідно до ПУЕ-2017.

Отже, з метою зниження  $U_{\max}$ . як у нормальному, так і у аварійному режимах варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

### **7.5. Санітарні норми параметрів повітря робочої зони під час проведення процесу пайки**

Одним з найнебезпечніших і шкідливих факторів у процесі виробництва пристроїв, є пайка виводів радіокомпонентів. За своєю сутністю пайка є процесом з'єднання твердих металевих поверхонь за допомогою проміжного металу чи сплаву в розплавленому стані з наступною його кристалізацією. Під час пайки основний метал з'єднання розчиняється у рідкому припої і відбувається взаємна дифузія металів. Вибір припою для пайки залежить від виду металів чи сплавів, які з'єднуються, розміру деталей, потрібної механічної міцності та стійкості до корозії. Наявність радіоелементів, які працюють при невисоких температурах, вимагає використовувати легкоплавкі припої. Цим вимогам відповідає припій ПОС-61 ГОСТ1499-79. До складу припою входить 61% олова, інше свинець. В якості флюсу при пайці використовується соснова каніфоль. Пайка проводиться електропаяльником потужністю 60 Вт. Операція пайки супроводжується забрудненням повітряного середовища аерозолем припою, в зоні паяння на робочому місці і приміщенні парами олова і свинцю, а також парами каніфолі. Пари, потрапляючи в повітря, конденсуються і перетворюються в аерозоль – частинки, які по своїй дисперсності наближені до диму. Ступінь впливу аерозолів залежить від хімічного складу та марки припою. Більшість хімічних елементів, що входять до складу припоїв, які на сьогоднішній день застосовуються є шкідливими для здоров'я та життя

людини. У процесі пайки елементів шкідливі речовини, що виділяються з припою та каніфолі, попадають на слизову оболонку порожнини рота, очей, верхніх дихальних шляхів, зі слиною заковтуються в травний тракт, вдихаються в легені. Основною професійною шкідливістю при пайці являється потрапляння в організм аерозолі свинцю. Частина свинцю, який потрапляє в організм людини затримується і відкладається в кістковій речовині, м'язах, мозку, печінці. При небажаних умовах свинець починає циркулювати у крові, тим самим викликаючи явище свинцевого отруєння. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 нормується гранично допустима концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Гранично допустима концентрація у повітрі робочої зони – це така кількість шкідливих речовин, яка при щоденній роботі протягом 8 г або іншої тривалості (40 годин у тиждень) протягом всього робочого стажу не може викликати захворювань або відхилень у стані здоров'я. За ступенем небезпеки всі шкідливі речовини діляться на 4 класи небезпеки:

- надзвичайно небезпечні гранично допустима концентрація  $< 0,1$  (свинець, ртуть);
- високо небезпечні гранично допустима концентрація  $0,1 - 1$  (хлор, бром, йод);
- помірно небезпечні гранично допустима концентрація  $1,1 - 10$  (оксид цинку);
- малонебезпечні гранично допустима концентрація  $> 10$  (пари спирту, бензину, ацетону).

Найбільш небезпечною речовиною аерозолі є свинець. Виходячи з вищезазначеного, небезпека процесу визначається токсичністю свинцю, причому наявність олова знижує токсичний ефект.

Зробимо розрахунок концентрації аерозолі свинцю в повітрі робочої зони. На робочих місцях питоме утворення аерозолі свинцю при пайці електропаяльником з потужністю 60 Вт складає 0,04 мг/100 пайок. Визначаємо концентрацію в повітрі аерозолі свинцю при ручній пайці за формулою:



$$C = \frac{0,6 \times y \times n \times t \times N}{v}$$

де  $y = 0,04$  мГ/100 питоме утворення свинцю;  $n = 10$ , шт – кількість пайок у хвилину;  $t = 8$ , год – тривалість зміни,  $N = 1$  шт – кількість робочих місць, на яких ведеться пайка,  $v = 175 \text{ м}^3$  – об'єм приміщення,

$$C = \frac{0,6 \times 0,04 \times 10 \times 8 \times 1}{175} = 0,01 \text{ мГ/м}^3.$$

За результатами розрахунку концентрація свинцю в повітрі робочої зони не перевищує гранично допустимої концентрації, тому не має необхідності у використанні засобів індивідуального захисту чи додаткової вентиляції.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						44
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У рамках дипломного проекту з теми «Трансвертер УКХ діапазону» були виконані наступні роботи.

Проаналізовані існуючі рішення щодо трансвертерів УКХ діапазону. Характерними їх ознаками визначено простоту конструкцій та використання кварцового генератора в якості гетеродину. Використання кварцового генератора як фактору зниження стабільності частоти спонукало нас створити власний варіант трансвертера.

Відповідно до технічного завдання було обрано й обґрунтовано вибір структурної схеми та елементної бази трансвертера, змодельовано прийомний та передавальний тракти, розроблено друковану плату та оформлено необхідну конструкторську документацію.

У ході роботи над дипломним проектом проведено розрахунки фільтра зосередженої селективності, необхідної площі плати, мікросмужкових ліній та розрахунок віброміцності електронного модуля. Отримані дані засвідчили, що розроблений пристрій задовольняє вимоги технічного завдання.

					РА61.461150.001 ПЗ	Лист
						45
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік джерел посилань

1. ElecraftXV144 [Електронний ресурс]Режим доступу —  
<https://ftp.elecraft.com/XV/Manuals%20Downloads/E740096%20XV%20Transverter%20Owner's%20Manual%20Rev%20F1.pdf>
2. The Angilian 144MHz transverter[Електронний ресурс]Режим доступу —  
[http://www.g4ddk.com/Anglian144v1\\_1.pdf](http://www.g4ddk.com/Anglian144v1_1.pdf)
3. Minicircuits [Електронний ресурс]Режим доступу —  
<https://www.minicircuits.com/WebStore/Amplifiers.html>
4. Minicircuits [Електронний ресурс]Режим доступу  
<https://www.minicircuits.com/WebStore/Mixers.html>
5. psemi [Електронний ресурс]Режим доступу  
<https://www.psemi.com/products/rf-switches>
6. [Електронний ресурс]Режим доступу  
<https://metod.onat.edu.ua/download/522>
7. Кримінальний кодекс України [Електронний ресурс]Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text>
8. ДСанПіН 3.3.2.007 - 98 [Електронний ресурс]Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>



